Variation spatiale à l'échelle d'un bassin versant des influences respectives des différents facteurs environnementaux sur la croissance des juvéniles de saumon *(S. salar)* et de la truite *(S. trutta)*– Cas du Léguer (22)

Rapport final

Ombredane Dominique [1, 2]

(1) UMR DECOD – (Dynamique et Durabilité des Ecosystèmes: de la source à l'Océan), Institut-Agro, INRAE, Ifremer, Rennes
(2) Pôle Gestion des Migrateurs Amphihalins dans leur Environnement, OFB, INRAE, AGROCAMPUS OUEST, UNIV PAU & PAYS ADOUR/E2S UPPA

Juin 2023

- ## AUTEURS

Dominique OMBREDANE, Professeur, Institut Agro Rennes-Angers – Département Ecologie - Unité pédagogique « Ecologie et Santé des Plantes », Dominique.Ombredane@institut-agro.fr

- ## CONTRIBUTEURS

Quentin Salmon, Etudiant M2, UFR Sciences Exactes et Naturelles de REIMS
Robin Dadure, Etudiant M1 Université de Rennes 1
Théo Garnier, Etudiant M2, Université Aix Marseille

Droits d'usage : accès libre

Niveau géographique : National

Couverture géographique : Bretagne Côtes d'Armor

Niveau de lecture : professionnels, experts

- **TITRE, AUTEURS**

Variation spatiale à l'échelle d'un bassin versant des influences respectives des différents facteurs environnementaux sur la croissance des juvéniles de saumon (S. salar) et de la truite (S. trutta)- cas du Léguer (22)

Ombredane Dominique

- **RESUME**

La croissance des juvéniles de la truite commune (*Salmo trutta*) et du saumon atlantique (*Salmo salar*) varient spatialement sur le bassin versant du Léguer. Les individus 0+ des deux espèces ne montrent pas de différences significatives de longueur à la fourche alors qu'à l'âge 1+ les truites sont plus grandes que les saumons.

Parmi les facteurs explicatifs de la croissance dans une modélisation multifactorielle, on observe (1) un effet négatif d'une ripisylve arborée trop importante chez les truites 1+ an, (2) que l'absence d'habitats de repos (faciès lentiques) est un frein à la croissance (3) que dans le contexte du Léguer, les facteurs liés à la température (somme de degrés jours) n'ont qu'un faible impact positif (4) que les compétitions inter et intra spécifique ainsi que inter classe d'âge ont globalement un effet négatif important. Cette approche multifactorielle améliore la compréhension des modalités de croissance, mais n'en explique que moins de 50 % de la variabilité. Un jeu de donnée plus conséquent (plus que 17 secteurs d'étude) et la prise en compte des facteurs trophiques permettraient sans doute d'améliorer les modèles

D'un point de vue méthodologique, une estimation des surfaces favorables aux salmonidés est proposée. Elle demande néanmoins à être validée

- **MOTS CLES (THEMATIQUES ET GEOGRAPHIQUES)**

Modélisation multifactorielle, LMM, croissance, juvéniles, *Salmo trutta*, *Salmo salar*, Léguer, Côtes d'Armor

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin aux opérations de terrain, inventaires piscicoles et descriptions des habitats aquatiques. Il s'agit tout d'abord des personnels de « Lannion Trégor Communauté » et particulièrement de Vincent Guizouarn, Goulven Geoffroy, Catherine Moret et Samuel Jouon pour la logistique de terrain et aux membres de l'AAPPMA du Léguer pour l'aide lors des pêches à l'électricité. Mes remerciements vont aussi à la Fédération Départementale des AAPPMA des Côtes d'Armor et plus spécifiquement à Alain Dumont pour avoir réalisé un certain nombre des inventaires piscicoles sur les ruisseaux et à l'OFB pour avoir mis à notre disposition les résultats des inventaires de quelques secteurs. Merci aussi au bureau d'étude « Fish Pass Environnement » qui a effectué une grande partie des inventaires piscicoles et les descriptions d'habitats pour son professionnalisme et son adaptabilité pour la mise en œuvre de protocoles scientifiques.

Je souhaite aussi remercier les trois stagiaires Quentin Salmon, Robin Dadure et Théo Garnier, qui ont participés à des degrés divers, au travail de terrain et au traitement des données, objet de cette étude.

SOMMAIRE

INTRODUCTION 1

1. CONTEXTE BIBLIOGRAPHIQUE 4

1.1. *Eléments de la biologie et de l'écologie de la truite commune (Salmo trutta) et du saumon atlantique (Salmo salar)* 4
1.1.1. Eléments d'écologie de la truite commune (*Salmo trutta*) 4
1.1.2. Eléments d'écologie du saumon atlantique *(Salmo salar*) 4
1.2. *Les facteurs de croissance et les modèles* 5
1.2.1. Variables abiotiques 5
1.2.2. Variables biotiques 7

2. MATERIELS ET METHODES 9

2.1. Site d'étude 9
2.1.1. Le réseau hydrographique 9
2.1.2. Zonation du cours d'eau 10
2.2. *Caractéristiques environnementales des secteurs d'inventaire piscicole* 11
2.2.1. Critères de localisation et caractéristiques générales des secteurs 11
2.2.2. Faciès d'écoulement 12
2.2.3. Ombrage, ripisylve et végétation aquatique 13
2.2.4. Température 13
2.3. *Caractéristiques piscicoles des secteurs d'étude* 14
2.3.1. Dénombrement des espèces 14
2.3.2. Caractéristiques des poissons 15
2.3.3. Les variables biotiques testées dans la modélisation de la croissance 16
2.4. *Analyses statistiques* 17
2.4.1. Comparaison de moyennes 17
2.4.2. Sélection des variables explicatives pour la modélisation 17
2.4.3. Les modèles linéaires simples et mixtes 18

3. RESULTATS 20

3.1. Quelques corrélations entre variables potentiellement explicatives de la croissance 20
3.1.1. Variables de localisation et de caractéristiques générales des secteurs 20
3.1.2 Ombrage et ripisylve 20
3.1.3. Densité en juvéniles de saumon et positionnement géographique du secteur 20
3.1.4. Variabilité thermique sur le bassin versant 21
3.1.5. Biomasse piscicole et salmonidés 22
3.2. Croissance comparée de la truite commune (S. trutta) et du saumon atlantique (S. salar) 22
3.2.1. Individus âgés de 0+ an 22
3.2.2. Individus âgés de 1+ an 22
3.3. Hétérogénéité spatiale de la croissance des juvéniles de la truite et du saumon sur le Léguer 23
3.3.1. Hétérogénéité spatiale de la croissance chez les juvéniles de truite (*S. trutta*) 23
3.3.2. Hétérogénéité spatiale de la croissance chez le saumon atlantique (*S. salar*) 27
3.4 Impact sur la croissance des principaux facteurs explicatifs pris individuellement 27
3.4.1. Rôle de la température sur la croissance 27
3.4.2. Croissance des salmonidés à 0+ et 1+ an densité-dépendante 29
3.4.3. Croissance des juvéniles de truite et faciès d'écoulement lotiques 30

3.5. *Modélisation multifactorielle de la croissance* 30
3.5.1. Croissance de la truite commune (*S. trutta*) à l'âge 0+ an 31
3.5.2. Croissance de la truite commune (*S. trutta*) à l'âge 1+ an 31
3.5.3. Croissance du saumon atlantique (*S. salar*) à l'âge 0+ an 32

4. DISCUSSION – CONCLUSION 33

4.1. Les limites méthodologiques de l'étude 33
4.1.1. Choix et nombre des secteurs d'inventaires piscicoles 33
4.1.2. Quantification des faciès d'écoulements des secteurs d'inventaire 33
4.2. Quelques apports méthodologiques 34
4.2.1. Estimation des surfaces d'habitat favorable aux juvéniles de salmonidés 34
4.2.2. Estimation de l'ombrage d'un secteur et ripisylve 34
4.2.3. Régime thermique du Léguer 35
4.3. Croissance comparée des deux espèces 35
4.4. Hétérogénéité spatiale de la croissance dans le Léguer 36
4.5. *L'approche multifactorielle de la modélisation de la croissance* 36
4.6. *Conclusion et impact sur gestion* 38

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 39

ANNEXES 45

Introduction

Contexte institutionnel

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche sur la population de truite commune (*Salmo trutta*) du Léguer, initié en 2016 suite à la demande des gestionnaires du bassin versant et plus particulièrement de Mme Catherine Moret de la structure « Vallée du Léguer » puis de la communauté d'agglomération « Lannion-Trégor Communauté » (LTC). L'étude a été financée par LTC et plus récemment par le Pôle AFB - INRA - Agrocampus Ouest - UPPA de recherche, de développement et d'innovation "Gestion des poissons migrateurs dans leur environnement" pour lequel le travail décrit dans ce rapport est plus particulièrement destiné. C'est aussi pourquoi dans la partie modélisation de cette étude, la phase juvénile du saumon atlantique (*Salmo salar*) a été incluse.
Ce travail a notamment fait l'objet en 2020 du stage de Master 2, Mention : Biodiversité, Ecologie et Evolution (BEE) de l'Institut Pythéas- Observatoire des Sciences de l'Université d'Aix-Marseille (Garnier, 2020). Ce stage s'est déroulé au sein de l'UMR INRAE – Agrocampus Ouest « Ecologie et Santé des Ecosystèmes » dans l'équipe « Conservation et Restauration des Ecosystèmes Aquatiques » (CREA)

Contexte général

La truite commune (*Salmo trutta*) et le saumon atlantique (*Salmo salar*) sont considérés comme des espèces importantes d'un point de vue socio-économique en Europe de l'Ouest (Elliott & Elliott, 2010). En effet, ces poissons sont très prisés par les pêcheries notamment sportives (Budy et al., 2013). En eau douce, la truite commune figure comme un indicateur du bon état écologique des cours d'eau car elle nécessite une eau et des habitats de bonne qualité pour se développer (Baglinière & Maisse, 1991 ; Crisp, 2000 ; Ombredane et al., 2020).
L'étude de la croissance chez les salmonidés est importante en raison des relations entre la croissance et la survie, la croissance et la fécondité ainsi que de l'influence de la croissance sur la dévalaison des juvéniles (dévalaison jusqu'en mer pour le saumon et la truite de mer ou seulement en aval des cours d'eau pour la truite résidente). Les facteurs de croissance de nature biotique (compétition inter et intra spécifique, disponibilité en nourriture, …) et abiotique (caractéristiques physiques et chimiques de l'environnement aquatique) des salmonidés en milieu naturel sont assez bien connus. Cependant, les connaissances portent surtout sur l'action de chacun des facteurs pris plus ou moins séparément. Peu de travaux en milieu naturel, montrent l'influence relative de chacun d'eux (approche multifactorielle) et la variabilité spatiale de la hiérarchie des divers facteurs (densité dépendance au stade 0+, température, habitats, …), notamment en relation avec les différents contextes au sein d'un bassin versant.

Le choix du bassin versant du Léguer se justifie par (1) le fait que ce cours d'eau bénéficie d'un bon fonctionnement écologique. Les parties amont et médiane sont classées « Site Rivière Sauvage » depuis octobre 2017 (Programme Rivières Sauvages, 2019). C'est d'ailleurs à ce jour, la seule rivière de la région Bretagne à détenir ce label. (2) la présence d'une importante population de

saumon atlantique et de truite commune, (3) l'acquisition de nombreuses données environnementales abiotiques depuis 2016 (dont la température par un réseau de plus de 30 thermographes toujours en place à ce jour), (4) l'acquisition en 2018 et 2019 de données piscicoles précises sur tout le bassin versant. Un travail préliminaire à ce projet, réalisé sur le Léguer en 2017 dans le cadre du mémoire de M2 de l'Université de Reims de Q. Salmon a montré la faisabilité d'une telle démarche multifactorielle et à l'échelle d'un bassin versant

Enjeux opérationnels

De nombreuses opérations de restauration des milieux sont programmées sur tous les cours d'eau (remise en talweg, reboisement des berges, rétablissement de la continuité, amélioration des habitats piscicoles, …) visant notamment à maintenir voire augmenter la biodiversité, améliorer la qualité des habitats (capacité d'accueil, potentialités de croissance, …) et rétablir des continuités écologiques. Cependant, un même type d'aménagement (physique ou biologique) peut ne pas avoir la même efficacité selon les cours d'eau et le contexte physico-chimique. Par ailleurs, le développement du tourisme pêche passe par l'accroissement du nombre de poissons de grande taille (Saumon, Truite de mer, truite résidente dite « fario », …). Une bonne connaissance de leur écologie aux stades juvéniles permet d'adopter des mesures de gestion plus efficaces pour « améliorer » les populations.

Les résultats de la démarche devraient aboutir à une méthode de subdivision d'un Bassin versant en zones fonctionnelles. Cela permettra aussi (1) de proposer un protocole de suivi de l'état de santé des populations de salmonidés (notamment la répartition spatiale des points de suivi). Ce suivi étant nécessaire dans le cadre du label « Rivière sauvage », (2) de guider les gestionnaires sur la variabilité des réponses à donner en termes de gestion en fonction des facteurs ayant le plus d'influence dans chaque zone.

Questions scientifiques

Ce travail vise à appréhender l'hétérogénéité spatiale de la croissance des juvéniles de la truite commune (*S. trutta*) et du saumon atlantique (*S. salar*) ainsi que des facteurs explicatifs de cette croissance à l'échelle du bassin versant. Plus précisément, il s'agit de tenter de répondre aux questions suivantes :

- Quelle est la meilleure combinaison des paramètres et indicateurs abiotiques environnementaux et biotiques (traduisant la densité -dépendance notamment) pour expliquer la croissance chez les juvéniles de salmonidés : Saumon et truite ?
- Quelles sont les meilleurs indicateurs de la température permettant d'expliquer la densité et la croissance des juvéniles de salmonidés en milieu naturel ?
- Quelle est la variabilité spatiale de la croissance et de la hiérarchie des facteurs environnementaux expliquant cette croissance ? Notamment, si les principaux facteurs de la croissance des juvéniles de salmonidés sont la température et la densité, quelle est la part relative de ces deux facteurs ?
- La densité –dépendance de la croissance chez les juvéniles de salmonidés s'exerce-t-elle seulement à l'échelle intra-spécifique dans les cours d'eau où juvéniles de saumon et truite

vivent en sympatrie même si les préférendums d'habitat des deux espèces ne sont pas strictement identiques ?

Pour répondre à ces questions, deux approches ont été retenues pour la truite. D'une part, une approche dite « scalimétrique » (Salmon, 2017 ; Dadure, 2019) basée sur le rétrocalcul des tailles de plus de 700 poissons capturés entre 2014 et 2018 sur tout le bassin versant du Léguer. Cette approche a mis en évidence une hétérogénéité spatiale de croissance et le rôle de certains facteurs environnementaux. D'autre part, une approche dite « populationnelle », objet de ce travail, qui se base sur des données acquises sur des secteurs d'inventaires piscicoles répartis sur tout le bassin versant. Cette approche doit permettre d'apprécier elle aussi l'hétérogénéité spatiale de la croissance. Elle permet surtout d'appréhender le rôle respectif de facteurs environnementaux et de facteurs biotiques comme la compétition inter-spécifique et intra-spécifique sur la croissance juvénile. Avec le même jeu de données (environnementales et issues des inventaires piscicoles), nous avons donc pu modéliser la croissance tant des juvéniles de la truite commune que celle des juvéniles de saumon atlantique.

Dans ce rapport, nous présentons successivement, quelques éléments du contexte bibliographique, puis les méthodes d'acquisition des données et les premiers résultats de la modélisation multifactorielle de la croissance des salmonidés réalisée notamment à l'aide de modèles linéaires mixtes (LMM).

1. Contexte bibliographique

1.1. Eléments de la biologie et de l'écologie de la truite commune (Salmo trutta) et du saumon atlantique (Salmo salar)

1.1.1. Eléments d'écologie de la truite commune (*Salmo trutta*)

Malgré un cycle de vie complexe, la truite commune, appartenant à la famille des salmonidés, est l'une des espèces piscicoles les mieux connues en Europe (Baglinière & Maisse, 1991). On distingue trois formes écologiques (Ombredane et al., 2020) : la truite migratrice marine dite « de mer » (*Salmo trutta trutta*), la truite lacustre (*Salmo trutta lacustris*) et la truite résidente de rivière (*Salmo trutta fario*). C'est à cette dernière que nous nous sommes intéressés dans la présente étude. Comme son nom l'indique, la truite résidente de rivière fait tout son cycle de vie dans les cours d'eau. Cependant les juvéniles de la forme migratrice marine et de la forme résidente ne se distinguent pas morphologiquement avant la smoltification de la forme marine (Ombredane et al, 2020). Aussi, l'étude porte sur l'ensemble des juvéniles de truite des deux formes écologiques résidente et marine, présentes dans le réseau hydrographique du Léguer.
La truite commune est une espèce sténotherme d'eau froide vivant dans des eaux dont la température est comprise entre 0 et 20°C (Ombredane et al., 2020). Sa température létale supérieure est de 24,7 °C (Elliott, 1994). Ses habitats préférentiels varient en fonction du stade de vie des individus. Les jeunes individus, appelés truitelles, fréquentent des zones peu profondes avec des vitesses de courant modérées comme les radiers et plats courants. En grandissant, ils se tournent vers des habitats plus profonds aux courants plus lents (Fragnoud, 1987 ; Haury et al., 1991 ; Ombredane et al., 2011). La truite commune s'alimente par dérive principalement d'invertébrés aquatiques ou terrestres tombés à l'eau mais les individus de grande taille peuvent également se nourrir de petits poissons.

1.1.2. Eléments d'écologie du saumon atlantique (*Salmo salar*)

Le saumon atlantique est une espèce migratrice anadrome : les subadultes et les adultes grandissent en mer puis reviennent en eau douce pour se reproduire. Le juvénile nait en cours d'eau où il reste de 1 à 5 ans selon la latitude (généralement 1 ou 2 ans en France) puis rejoint la mer (Porcher & Baglinière, 2011). Alors considéré comme adulte, il observe une phase de croissance de 1 à 3 ans avant leur retour en eau douce pour la reproduction (Porcher & Baglinière, 2011). En mer son aire de répartition se situe au large du Groenland et des Îles Féroé (Porcher & Baglinière, 2011). En rivière, lors de la période de reproduction, il se répartit sur le continent européen, du nord de la péninsule scandinave au nord du Portugal et sur le continent Nord-américain, du nord du Québec jusqu'à l'état du Connecticut aux États-Unis (Baglinière & Porcher, 1994). Le saumon atlantique vit dans des eaux froides mais tolère toutefois des températures légèrement plus importantes que la truite commune (Elliott & Elliott, 2010). Néanmoins, les eaux présentant des températures supérieures à 22 C ne sont pas propices à l'alimentation du saumon (Eliott, 1991) et sa température létale supérieure a été estimée à 27,8 °C par Garside (1973) A l'instar des truitelles, les juvéniles de saumon, appelés tacons, vivent dans des milieux courants peu profonds. Toutefois ces derniers sont mieux adaptés d'un point de vue morphologique à des vitesses de courant plus importantes, caractéristiques des habitats rapides (Karlström, 1977 ; Haury et al., 1991 ; Bardonnet & Baglinière,

2000 ; Porcher & Baglinière, 2011). En eau douce, les tacons se nourrissent principalement d'invertébrés.

1.2. *Les facteurs de croissance et les modèles*

De nombreuses études portant sur la croissance de la truite commune et du saumon atlantique à différentes échelles spatio-temporelles ont été menées (Frost, 1950 ; Baglinière & Maisse, 1990 ; Beaudou & Cuinat, 1990 ; Elliott, 1994 ; Lagarrigue, 2000 ; Lagarrigue et al., 2001 a ; Nicola & Almodovar, 2004 ; Logez & Pont, 2011 ; Carlson et al., 2016 ; Dieterman et al., 2012 ; FDAAPPMA27, 2015 ; Puffer et al., 2017). Celles-ci révèlent que de nombreux facteurs écologiques biotiques et abiotiques peuvent influencer la croissance de ces deux espèces. De plus de nombreux critères géographiques, et hydromorphologiques (des « proxys » de facteurs écologiques) sont utilisés pour la modélisation de leur croissance et de leur abondance.

1.2.1. Variables abiotiques

a) Critères de positionnement dans le bassin versant et de géomorphologie des cours d'eau

La surface de bassin versant drainée ainsi que la largeur du cours d'eau sont des critères de positionnement fréquemment utilisés pour expliquer la croissance de la truite commune (Beaudou & Cuinat, 1990, Logez & Pont, 2011 ; FDAAPPMA27, 2015 ; Carlson et al., 2016). Dans leurs études, Logez & Pont (2011) et Carlson et al. (2016) ont montré une relation positive entre la surface de bassin versant drainée et la croissance. La Fédération Départementale de pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de l'Eure (FDAAPPMA27, 2015) a également démontré une relation positive entre la largeur du cours d'eau et la taille à 30 mois des truites.

L'altitude et la pente sont des critères souvent utilisés pour modéliser la croissance de la truite (Beaudou & Cuinat, 1990 ; Lagarrigue, 2000 ; Lagarrigue et al., 2001 b ; Caudron et al., 2006 ; Parra et al., 2009). Toutefois, dans ces études, les cours d'eau concernés se situent essentiellement en milieu montagnard et ces variables, sans être des facteurs écologiques, font office de « proxys » des conditions thermiques et physiques (relation altitude et température et relation pente et vitesse de courant).

b) caractéristiques de l'habitat aquatique

La granulométrie des fonds, résultante de la nature géologique du bassin versant, de la hauteur d'eau et de la vitesse de courant joue un rôle d'abri (Haury et al., 1991). Les truite commune et saumon atlantique choisissent comme habitat de reproduction, des faciès présentant une granulométrie adaptée à leur taille (Heggenes et al., 1999 ; Armstrong et al., 2003). Néanmoins, ces deux espèces privilégient pour leur phase juvénile des granulométries assez grossières (graviers, galets, cailloux) qui offrent une protection contre les prédateurs et les vitesses de courant importantes (Haury et al., 1991 ; Bardonnet & Baglinière, 2000). Une granulométrie adaptée pourrait donc avoir une influence positive sur la croissance des individus en limitant les dépenses énergétiques liées à la lutte contre le courant pour ne pas dériver et en abritant une faune d'invertébrés, source principale d'alimentation de ces salmonidés.
La vitesse de courant est un facteur pouvant jouer directement sur la croissance, mais sa variabilité dans le temps et son hétérogénéité spatiale à très petite échelle ne permettent pas de l'utiliser

directement dans des modèles établis pour le milieu naturel. De même la hauteur d'eau n'est pas un paramètre utilisé directement du fait de son hétérogénéité spatiale à petite échelle.

La végétation aquatique et notamment les macrophytes structurent l'habitat pisciaire et jouent des rôles variés (Haury et al., 1991 ; Roussel et al., 1998). Les macrophytes immergés servent de support pour différents invertébrés (Tiberghien, 1985 ; Haury et al.,1991). Wright (1992) a montré que la richesse taxonomique, l'abondance ainsi que la biomasse d'invertébrés sont significativement plus élevées en présence de macrophytes que sur un sol nu. Ainsi une importante quantité de végétation aquatique entrainant une plus grande disponibilité en nourriture pourrait avoir un impact positif sur la croissance des truites et des saumons. De plus, la végétation aquatique peut limiter la compétition inter et/ou intra-spécifique en raison d'un certain isolement visuel entre les individus (Haury et al., 1991 ; Höjesjö et al., 2004). Cependant en modifiant les conditions d'écoulement, la présence de macrophytes influe sur la répartition locale des truites et des saumons. En l'absence de végétation aquatique, les densités de juvéniles de saumon sont plus élevées car les conditions physiques rencontrées, notamment les vitesses de courant, correspondent mieux aux préférendums du saumon (Roussel et al., 1998).

Un autre paramètre relatif à l'habitat est la ripisylve. Blann (2000) a montré que dans des cours d'eau du sud-est du Minnesota aux Etats-Unis, la biomasse de truite commune est plus importante lorsque la zone riparienne est boisée que lorsqu'il s'agit d'une zone cultivée. Cela peut s'expliquer par le fait que la présence de ripisylve engendre de l'ombrage limitant ainsi les fortes variations de la température de l'eau et permet également d'accroître la disponibilité en nourriture via la faune exogène tombant à l'eau (Baxter et al. 2005 ; Vondracek et al., 2005). De plus, les souches, racines et débris de bois de la végétation rivulaire offrent des caches jouant un rôle d'abri (Haury et al., 1991). Ce paramètre a d'ailleurs été pris en compte pour la modélisation de la croissance de la truite par Carlson et al. (2016) et Salmon (2017).

c) La température

La température de l'eau est un facteur écologique reconnu pour avoir une influence majeure sur sa croissance des animaux poïkilothermes (Frost & Brown 1967 ; Mills, 1971 ; Brett, 1979 ; Baglinière & Maisse, 1990 ; Elliott, 1994 ; Elliott et al., 1995 ; Crisp, 2000 ; Dieterman et al. 2004 ; Elliott et Elliott, 2010). La température agit de manière directe sur l'écophysiologie des individus (Haury et al.,1991). De nombreuses études ont tenté d'estimer la gamme de températures optimales de croissance mais les valeurs trouvées différent (Elliott, 1975 a, b ; Forseth & Jonsson, 1994 ; Ojanguren et al., 2001 ; Forseth et al., 2009). Dans ces études, les populations étudiées se trouvent à des latitudes différentes, ce qui selon Parra et al. (2009) pourrait être la résultante d'une adaptation aux conditions thermiques locales. Toutefois, la croissance est un phénomène qui est contrôlé par les activités enzymatiques, par conséquent la truite commune ne grandit que pour une gamme de température donnée, comprise entre 3,6 et 19,5°C, avec pour optimal 13,1°C selon Elliott et al. (1995). En milieu naturel, la gamme de températures pour la croissance se situe entre 7 et 19°C selon Frost & Brown (1967) et 7 et 17°C selon Mills (1971). En ce qui concerne le saumon atlantique, la température de l'eau fait également figure de facteur ayant un impact fort sur la croissance, notamment chez les jeunes individus (Gibson, 1993 ; Jensen, 2003 ; Baum et al., 2005 ; Jonsson et al., 2005). Bal et al. (2011) ont mis en évidence une relation en cloche entre la croissance des tacons

et la température de l'eau. D'après Elliott et Hurley (1997), la gamme de températures de l'eau pour la croissance des juvéniles de saumon atlantique 0+ et 1+ s'étend de 6 à 22,5°C avec comme optimal 15,9°C.
Outre son action directe, la température agit également de façon indirecte en modifiant les conditions physico-chimiques du milieu. C'est le cas notamment de la teneur en oxygène dissous dont la solubilité diminue avec l'élévation de la température. Elle affecte également le développement des végétaux aquatiques et des invertébrés benthiques (Haury et al., 1991).
Dans les modèles de croissance, la température est un facteur utilisé de différentes façons. Logez & Pont (2011) utilisent la température de l'air, Baglinière & Maisse (1990) emploient la température moyenne journalière de l'eau tandis que Carlson et al. (2016) se servent de la sensibilité thermique, basée sur la relation entre la température de l'air et de l'eau.

1.2.2. Variables biotiques

La densité dépendance est un facteur connu pour jouer un rôle majeur sur la croissance des salmonidés (Crisp, 2000 ; Jonsson & Jonsson, 2011). De nombreuses études ont mis en évidence une relation négative entre la croissance et la densité d'individus suggérant une compétition inter et intra-spécifique chez la truite commune et le saumon atlantique (Crisp, 1993 ; Newman, 1993 ; Jenkins et al., 1999 ; Imre et al., 2005 ; Lobón-Cerviá, 2005, 2007 et 2010 ; Kaspersson & Höjesjö, 2009 ; Bal et al., 2011 ; Parra et al., 2012).

La compétition, qu'elle soit inter ou intra-spécifique a principalement lieu entre les individus de même âge en raison d'une ségrégation spatiale liée à la taille des individus. Les juvéniles fréquentent des eaux peu profondes alors que les individus plus âgés occupent des eaux plus profondes (Haury et al., 1991).
Chez la truite commune, les truitelles sont territoriales. La compétition intra-spécifique se traduit chez les individus plus âgés par une dominance sociale des poissons les plus agressifs qui ont alors accès à davantage de ressources (Alanärä et al., 2001), ce qui leur offre une meilleure croissance. Chez le saumon atlantique, les tacons aussi sont territoriaux (Porcher & Baglinière, 2011). Différentes études ont montré que la compétition intra-spécifique des juvéniles affecte négativement leur croissance (Grant & Imre, 2005 ; Ward et al., 2009). Bal et al. (2011) ont conclu que la croissance des tacons est fortement liée à leur densité.

En ce qui concerne la compétition inter-spécifique entre ces deux espèces, les jeunes saumons se développent dans des eaux aux vitesses de courant un peu plus importantes que les truitelles. Cela peut s'expliquer par l'agressivité de ces dernières qui monopolisent les milieux ayant un courant plus faible (Kalleberg, 1958 ; Haury et al., 1991).

Dans les modèles visant à expliquer la croissance de ces deux espèces, différentes variables caractérisant la compétition inter- et intra-spécifique sont employées. Carlson et al. (2016) utilisent un indice d'abondance relative basé sur le nombre de truites communes pêchées par heure pour caractériser la compétition intra-spécifique. Dieterman et al. (2012) emploient eux aussi un indice d'abondance relative basé cette fois-ci sur le nombre de truites communes et d'ombles de fontaine par mètre carré.

D’autres facteurs comme la disponibilité en nourriture joue un rôle sur la croissance. Ce facteur n’est pas souvent mis en évidence en milieu naturel, car il est difficile à mesurer in situ.

2. Matériels et méthodes

2.1. Site d'étude

2.1.1. Le réseau hydrographique

Le bassin versant du Léguer, situé dans le département des Côtes d'Armor (22), s'étend sur près de 495 km^2 (SAGE Baie de Lannion, 2013) avec des altitudes comprises entre 0 et 330 m. Il est caractérisé par un réseau hydrographique dense et son linéaire total est estimé à environ 1080 km y compris le ruisseau de Kerlouzouen (appelé parfois Min Ran) dont la confluence avec le Léguer se situe à Lannion (Figure 1).

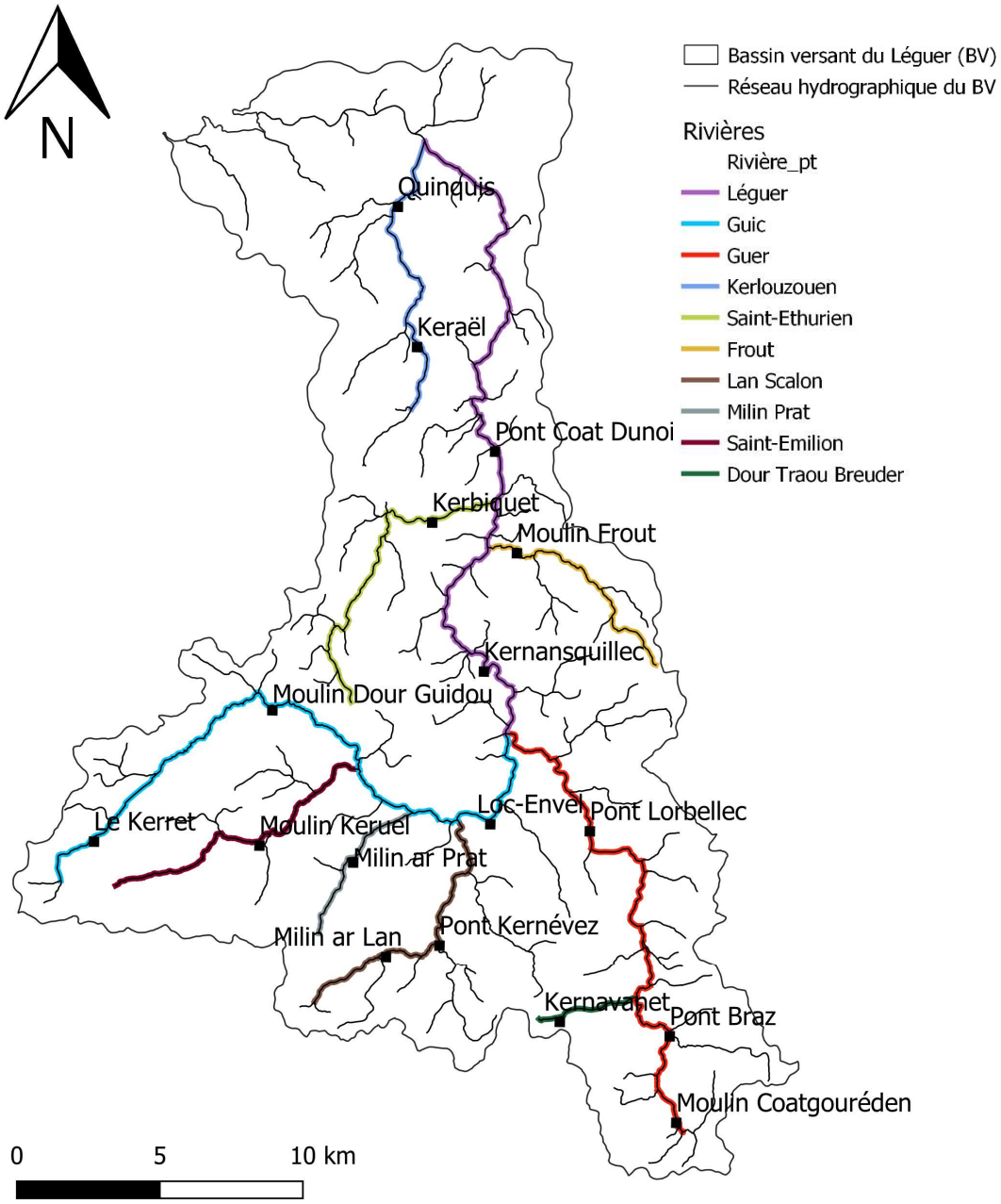


Figure 1 : Réseau hydrographique du Léguer et localisation des 17 secteurs d'inventaires piscicoles étudiés en 2018 et 2019.

Le Léguer, cours d'eau principal du bassin versant, issu de la confluence du Guer et du Guic au niveau de Belle-Isle-en-Terre est un fleuve côtier de 58,1 km de long (SAGE Baie de Lannion, 2013) qui se jette dans la Manche au niveau de la baie de Lannion.

2.1.2. Zonation du cours d'eau

Le réseau hydrographique du Léguer a fait l'objet d'une zonation en se basant essentiellement sur le critère pente, mais aussi sur l'ordre de drainage de Strahler et la proximité de la mer dans le cadre du programme de recherche sur la truite (Salmon, 2017). Le détail de la zonation est donné dans le tableau 1.

Tableau 1 : Description des zones définies sur le Léguer pour l'approche scalimétrique (complété d'après Salmon, 2017). Les zones surlignées en gris n'ont pas fait l'objet d'inventaire piscicole

Zone	Limites altitudinales	Pente	Ordre de Strahler
Léguer aval	De Lannion (à 3m) jusqu'à 40m	0,22 %	5
Léguer amont	De la confluence Ruisseau de Kérélo (à 40m) jusqu'à Belle-Isle–en-Terre (à 94 m)	0,43%	5
Guic aval	De Belle-Isle-en-Terre (à 94m) jusqu'à 150m	0.46%	4-5
Guic amont a	De 150m à l'étang du Guic (183m	0.25%	3
Guic amont b	De l'étang du Guic (183m) à la source (220.5m)	0.55%	1-3
Guer aval	De Belle-Isle-en-Terre (94m) à Traou Leguer (180 m)	0.42%	3-4
Guer amont a	De 180m à 235m (Pont ar Glédic)	0.74%	1-3
Guer amont b	De Pont ar Glédic (235m) à la source (282 m)	0.97%	1
Saint Ethurien aval	De 42.5m à 155m	0.86%	2-3
Saint Ethurien amont	De 155m à 190m (Traon on dour)	1.03%	1-2
Lan Scalon	De 104.5m à 280m (Menez Houarnay)	1.44%	4
Saint Emilion	De 128m à 221m	0.75%	3
Frout	De 51m à 155m (Kergrist)	1.96%	3
Fruguel	De 104.5m à 185m (Toull Was)	1,41%	1-3
Kerlouzouen (Min Ran) aval	De la confluence avec le Léguer (4 m) jusqu'à Convenant Droniou (60 m)	0,93%	3
Kerlouzouen (Min Ran) amont	De Convenant Droniou (60m) jusqu'à la source Traou ar Lan (120m)	0,65%	1-3
Milin ar Prat	De 111m à 206m (Coat treusvern)	1.51%	2

Comme il n'était pas possible d'étudier d'un point de vue piscicole tous les affluents et sous affluents, ni même toutes les zones définies sur le Léguer, un choix a été réalisé en fonction de la distance à la mer de l'exutoire du cours d'eau et de sa pente moyenne. Parmi toutes les zones définies, 15 d'entre elles ont été retenues et caractérisées. Dans chacune d'entre elles, un et parfois deux des secteurs d'inventaire piscicole ont été choisis. Au total, 17 secteurs d'une longueur allant de 50,4 mètres à 131 mètres ont été échantillonnés et décrits pour ce travail (Figure 1 et Tableau 2).

*Tableau 2 : Caractéristiques des 17 secteurs d'inventaire piscicole du bassin versant du Léguer. Avec Surface BV = Surface de bassin versant drainée au centre niveau du secteur ; Pente = Pente moyenne sur 500 mètres incluant le secteur, altitude au centre du secteur. * : secteurs inventoriés en 2019 (les autres secteurs ont été prospectés en 2018).*

Rivière	Nom du Secteur	Longueur (m)	Largueur (m)	Surface BV (km^2)	Altitude (m)	Pente (%)
Léguer	Pont Coat Dunois	55,4	18,5	361,4	33,3	0,16
Léguer	Kernansquillec	65,6	14,5	277,89	71,7	0,45
Guer	Pont de Lorbellec	69,0	6,5	66,55	131,3	0,85
Guer	Pont Braz	69,7	6,3	27,25	209,7	0,36
Guer	Coatgouréden *	81,7	2,3	6,99	228,5	0,56
Guic	Loc Envel	79,1	10,9	159,16	100,1	0,13
Guic	Moulin du Dour Guidou	64,7	5,6	34,58	157,7	0,45
Guic	Le Kerret	72,3	3,1	7,28	188,0	0,45
Kerlouzouen	Quinquis	50,4	5,1	43,1	20,1	0,77
Kerlouzouen	Keraël	70,4	3,2	8,98	83,7	0,26
Saint-Ethurien	Kerbiquet	66,5	4,7	26,84	68,3	1,97
Frout	Moulin du Frout	65,1	3,4	19,7	75,0	1,08
Lan Scalon	Pont Kernevez	131,0	5,8	24,61	180,1	0,38
Lan Scalon	Milin ar Lan *	66,1	2,9	10,34	198,7	1,05
Milin ar Prat	Milin ar Prat	129,4	3,1	10,76	142,3	0,65
Saint-Emilion	Moulin de Keruel	60,7	4,4	22,35	159,9	0,94
Dour Traou Breuder	Kernavanet *	65,1	1,5	1,17	245,7	1,95

2.2. *Caractéristiques environnementales des secteurs d'inventaire piscicole*

Les 17 secteurs de pêche ont été caractérisés avec précision par un grand nombre de critères susceptibles d'expliquer la présence, l'abondance et la croissance des espèces piscicoles. Les critères retenus sont utilisés dans divers protocoles de description hydromorphologique des habitats aquatiques (Malavoi & Souchon, 2002 ; Belliard & Roset, 2006 ; Collectif, 2017 ; Germis et al., 2017).

Le protocole précis utilisé (Berceau, 2022) est présenté en détail en Annexe 1.

2.2.1. Critères de localisation et caractéristiques générales des secteurs

Divers paramètres connus pour influencer la biodiversité piscicole d'un secteur ou sa capacité d'accueil des salmonidés, ont été recueillis après les inventaires. Il s'agit notamment de critères utilisés pour le calcul de l'Indice Poisson Rivière IPR (Belliard & Roset, 2006).

L'**altitude** a été déterminée à l'aide de l'outil « Afficher des coordonnées » du site Géoportail de l'IGN au centre des différents secteurs.

Les **distances aux sources et à la mer** ont été estimées grâce à l'outil « Mesurer une distance » sur les cartes IGN au 1/25 000ème du site Géoportail. Pour ce faire, nous avons mesuré la distance curvilinéaire du cours d'eau entre la source de ce dernier et le milieu du secteur. La même méthode

a été appliquée afin d'estimer la distance à la mer (ici le point de référence « mer » a été défini comme celui de la confluence entre le Léguer et le Kerlouzouen au niveau de Lannion).

La **pente** a été calculée sur un tronçon de 500 mètres incluant le secteur de pêche. La longueur de ce tronçon a été mesurée en suivant le lit mineur du cours d'eau grâce à l'outil « Mesurer une distance » sur les cartes IGN au 1/25 000ème du site Géoportail. Les altitudes des points amont et aval du tronçon ont été relevées sur les cartes IGN du site Géoportail. Ensuite, la formule de calcul suivante a été appliquée :

Pente (en %) = ((Altitude amont - Altitude aval) / Longueur du tronçon) * 100.

Une grande partie (plus de 50 %) du linéaire n'est pas cartographiée par l'IGN (SAGE Baie de Lannion, 2013) notamment près des sources des cours d'eau, la distance à la source peut donc être sous-estimée. Nous avons donc inclus dans nos analyses une autre variable de positionnement, la **surface de bassin versant drainée** jusqu'au milieu de chaque secteur de pêche. Ces surfaces ont été calculées à l'aide de l'outil « Visualiseur » proposé par le site GéoBretagne (https://geobretagne.fr/mapfishapp/).

Enfin, la **largeur** moyenne de chaque secteur a été estimée. Chaque faciès d'écoulement (paragraphe 2.2.2) composant le secteur a été caractérisé par sa largeur moyenne (voir annexe 1). La largeur moyenne du secteur correspond à la moyenne, pondérée par la longueur des faciès, de la largeur moyenne de chacun d'entre eux. Cette caractéristique augmente de l'amont vers l'aval d'un cours d'eau et peut aussi traduire le positionnement du secteur dans le réseau (distance aux sources). De surcroît, la largeur et la pente ont permis à Forget et al. (2018) d'estimer les habitats favorables au saumon atlantique.

2.2.2. Faciès d'écoulement

Chaque secteur de pêche est dans un premier temps découpé visuellement en faciès d'écoulement se succédant plus ou moins longitudinalement. Par faciès d'écoulement, nous entendons une surface de cours d'eau plus ou moins homogène quant à la vitesse de courant, la hauteur d'eau et la granulométrie (Malavoi & Souchon, 2002). Ces faciès sont utilisés par les hydrobiologistes pour étudier les relations habitats-poissons, apprécier les potentialités de développement de certaines espèces dont les salmonidés (Fragnoud, 1987 ; Haury et al., 1991 ; Bardonnet & Baglinière, 2000 ; Armstrong et al., 2003).
Dans cette étude, cinq principaux types de faciès sont retenus (Champigneulle, 1978 ; Haury et al., 1991, Ombredane et al., 1995 ; Germis et al., 2017) : profond (P), plat lent (PL), plat courant (PC), radier (Rad) et rapide (Rap). Les Rapides et Radiers présentent un écoulement turbulent tandis que les Plats courants et les Plats lents présentent un écoulement laminaire (voir détails et description des faciès en Annexe 1). La surface de chaque faciès est évaluée via leur longueur au centre du lit (soit [longueur rive droite + longueur rive gauche] / 2) et leur largeur moyenne. A partir de ce découpage et de ces mesures, les calculs suivants sont réalisés :

- Les pourcentages relatifs en matière de surface des différents types de faciès (% P, % PL, % PC, % Rad, % Rap) et de regroupements de faciès (% PC+Rad, % PC+Rad+Rap, correspondant aux faciès lotiques et % P+PL, correspondant aux faciès lentiques).

- **Le fractionnement** du secteur qui s'exprime en nombre de faciès différents par km (Ombredane et al., 1995).

2.2.3. Ombrage, ripisylve et végétation aquatique

La luminosité dans l'eau étant un paramètre de répartition des différents groupes d'âge de la truite (Haury et al., 1991), une note d'ombrage (de 0 : ombrage nul à 3 : très ombragé) a été attribuée pour chaque faciès d'écoulement de chaque secteur. Puis une note d'**ombrage** moyen a été calculée pour le secteur (moyenne pondérée des notes par faciès par la surface de chaque faciès).

Le **pourcentage de recouvrement par de la végétation aquatique** (bryophytes, phanérogames, algues, …) a été estimé visuellement pour chaque faciès. Un pourcentage moyen de recouvrement a été calculé pour chaque secteur (moyenne pondérée par la surface de chaque faciès).

Enfin la **présence de ripisylve arborée** a été quantifiée (Carlson et al., 2016 ; Salmon, 2017). Pour chaque berge de chaque faciès, la nature de la ripisylve est évaluée visuellement (% du linéaire de 4 types d'occupation des berges : arbre, arbuste, herbe, sol nu). Nous parlons de ripisylve arborée quand les berges sont occupées par des arbres (> 2.5 m de haut) et des arbustes (de 0.5 à 2.5 m de haut). Pour chaque secteur, nous avons calculé les pourcentages de linéaire sans (**Rip0**), avec une (**Rip1**) et deux (**Rip2**) berges avec une ripisylve arborée. Un indice global Rip est calculé à partir de ces trois pourcentages, correspondant au % de berges (rives droite et gauche confondues) avec une ripisylve arborée :

$$Rip = (Rip0*0 + Rip1*1 + Rip2*2) / 2.$$

2.2.4. Température

Au total, 17 thermographes (TidbiT V2 de ProSensor) ont été placés au sein ou à proximité des secteurs d'inventaire. Ceux-ci étaient programmés pour effectuer une mesure de température toutes les heures.
A partir de ces données, acquises depuis 2016 pour certains secteurs, nous avons pu calculer différentes variables relatives à la température.
Le cycle annuel a été divisé en 4 périodes. Les dates de début et de fin des périodes ont été définies en cohérence avec les cycles de vie de la truite commune et des juvéniles de saumon (reproduction, émergence des alevins, …) et des saisons climatiques. Ainsi, le printemps s'étend du 01/03 au 31/05, l'été du 01/06 au 30/09, l'automne du 01/10 au 30/11 et l'hiver du 01/12 au 28/02.

Tous les inventaires piscicoles ayant eu lieu à la fin de l'été ou au début de l'automne, les variables suivantes, concernant la température ont été calculées :

- Pour les juvéniles de salmonidés 0+ nés et capturés l'année n : températures moyennes du printemps (**Tp0**) et de l'été (**Te0**) de l'année n, ainsi que la somme du nombre de degré-jours au-dessus de 0°C (**DJ0**) du début du printemps de l'année n (01/03/n) jusqu'à la veille de la date de l'inventaire (Parra et al., 2012). Les degrés-jours qui traduisent l'énergie reçue par les individus 0+ depuis leur émergence théorique (fixée ici au 1er mars) sont évalués par la

somme des températures moyennes journalières (sur 24 heures) du 01/03 de l'année n jusqu'à la veille de la date de l'inventaire.

- Pour les individus 1+ nés l'année n-1 et capturés l'année n : températures moyennes saisonnières de l'année n-1 (au printemps **Tp-1**, en été **Te-1**, en automne **Ta-1** et en hiver **Th-1**) et températures moyennes du printemps et de l'été de l'année n, notées respectivement **Tp1** et **Te1**. La somme des degrés-jours du début du printemps de l'année n-1 à la veille de l'inventaire de l'année n (**DJ1**) est calculée, tout comme la somme des degré-jours du printemps et de l'été de l'année n-1 (**DJ-1**) qui correspond à la phase de forte croissance juvénile (Parra et al., 2012). DJ-1 correspond presque au DJ0 des 0+.

Les variables thermiques relatives à l'année n-1 (Tp-1, Te-1, Ta-1, Th-1 et DJ-1) pour les salmonidés 1+ an repose sur une hypothèse forte que les juvéniles restent dans la même zone durant toute leur croissance 0+ et 1+. Cependant, cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée pour les juvéniles 1+ de truite notamment (Baglinière & Maisse, 2002)

Dans la mesure où à aucun moment, les températures n'ont atteint les températures létales de la truite *S trutta* et du saumon *S. salar* sur les secteurs d'inventaire piscicole, les sommes de degrés jour ont été considérés comme favorables à la croissance. Aucune variable thermique traduisant l'effet délétère des fortes températures n'a été calculée.

2.3. *Caractéristiques piscicoles des secteurs d'étude*

Des pêches à l'électricité (2 passages successifs) avec retrait (méthode par épuisement) ont été réalisées sur 2 secteurs (Le Lan Scalon à Pont Krernevez et le Milin ar Prat à Milin ar Prat) par l'Office Français de la Biodiversité (ex-Agence Française de la Biodiversité) dans le cadre du réseau de surveillance Directive Cadre Européenne (DCE). Les autres secteurs ont été pêchés par deux autres structures : la Fédération Départementale des Associations Agréées de Pêche et de Protection du Milieu Aquatique des Côtes-d'Armor (FDAAPPMA 22) pour 8 d'entre eux (Guer amont à Pont Braz et à Coatgouréden, Guic amont à Le Kerret, Kerlouzouen amont à Keraël et aval au Quinquis, le Frout au Moulin du Frout,, le Saint Emilion à Kerhuel et le Lan Scalon à Milin ar Lan) et le bureau d'études Fish-Pass Environnement pour les autres. Au total, 14 secteurs ont été pêchés en 2018 (entre le 24/09 et le 19/10) et 3 secteurs (Tableau 2) en 2019 (entre le 18/10 et le 21/10).

Les pêches réalisées par l'OFB et Fish Pass Environnement ont été effectuées avec un(des) groupe(s) électrogène(s) dispensant un courant continu. Celles réalisées par la FDAAPPMA 22 l'ont été avec un appareil portatif (un « Martin Pêcheur ») dispensant un courant continu pulsé.

2.3.1. <u>Dénombrement des espèces</u>

Sur les 17 secteurs, 11 espèces différentes ont été inventoriées sur le bassin de Léguer : L'anguille européenne *Anguilla anguilla* (ANG), le chabot commun *Cottus gobio* (CHA), le gardon *Rutilus rutilus* (GAR), le goujon commun *Gobio gobio* (GOU), la loche franche *Barbatula barbatula* (LOF), la lamproie de Planer *Lampetra planeri* (LPP), la perche commune *Perca fluviatilis* (PER), le saumon Atlantique *Salmo salar* (SAT), la truite commune de rivière *Salmo trutta fario* (TRF), la truite commune de mer *Salmo trutta trutta* (TRM) et le vairon *Phoxinus phoxinus* (VAI). Les nombres de juvéniles 0+ et 1+ an de truite commune et de saumon atlantique pêchés au sein des 17 secteurs figurent dans le tableau 3.

Sur la base du dénombrement des individus par passage et par espèce, l'effectif de chaque espèce a été estimé, dans la mesure du possible, par la méthode de Carle et Strub (Carle & Strub, 1978 ; Gerdeaux, 1987). Pour les salmonidés, cette estimation a été réalisée par groupe d'âge (0+ an, 1+ an et > 1+ an).

Les groupes d'âge des salmonidés ont été déterminés via l'analyse des histogrammes de fréquence de taille et par scalimétrie (voir paragraphe 2.3.2).

Tableau 3 : Informations relatives au dénombrement des juvéniles de truite commune S. trutta (TRF) et de saumon atlantique S. salar (SAT) 0+ et 1+ sur les 17 secteurs de pêche électrique du bassin versant du Léguer.

Rivière	Secteur	TRF0+	TRF1+	SAT0+	SAT1+
Léguer	Pont Coat Dunois	9	14	43	38
Léguer	Kernansquillec	4	24	275	85
Guer	Pont Lorbellec	13	13	68	34
Guer	Pont Braz	22	61	2	0
Guer	Coatgouréden	5	0	0	0
Guic	Loc Envel	23	52	209	18
Guic	Moulin Dour Guidou	4	13	8	5
Guic	Le Kerret	32	1	0	0
Kerlouzouen	Quinquis	14	17	0	3
Kerlouzouen	Keraël	57	22	0	0
Saint-Ethurien	Kerbiquet	23	20	9	4
Frout	Moulin Frout	48	18	40	0
Lan Scalon aval	Pont Kernevez	38	81	70	4
Lan Scalon amont	Milin ar Lan	17	11	0	0
Milin ar Prat	Milin ar Prat	77	38	9	3
Saint-Emilion	Moulin Keruel	11	8	20	2
Dour Traou Breuder	Kernavanet	12	0	0	0

2.3.2. Caractéristiques des poissons

Tous les poissons collectés lors de ces pêches ont été mesurés à la fourche sauf pour les 2 secteurs inventoriés par l'OFB où des mesures de la longueur totale (LT) ont été réalisées. Des abaques (un pour chaque espèce) estimant la longueur à la fourche (LF) à partir de la longueur totale (LT) ont été réalisés sur la base des données recueillies à l'occasion des inventaires des 15 autres secteurs. Ces abaques ont été utilisés pour homogénéiser les données à la **longueur à la fourche** pour les salmonidés.

Tous les poissons ont été pesés individuellement ou par lot (pour les petits individus) permettant d'estimer la **biomasse pêchée** par espèce (voire par espèce et groupe d'âge pour les salmonidés).

Des écailles ont été prélevées sur les individus les plus grands afin d'en estimer l'**âge** par scalimétrie (Ombredane & Baglinière, 1991). Dans la plupart des cas, les individus de 0+ an étaient bien individualisés sur les histogrammes de fréquence de tailles. La scalimétrie a surtout été utilisée pour séparer les individus 1+ à forte croissance et les individus plus âgés, notés ici « > 1+ an ».

2.3.3. Les variables biotiques testées dans la modélisation de la croissance

Les variables à expliquer dans cette étude sont les longueurs à la fourche des truites et des saumons 0+ et 1+ an. Les variables explicatives calculées visent à appréhender le rôle de la compétition inter- et/ou intra-spécifique et mettre en avant le caractère densité-dépendant de la croissance. A partir de la surface pêchée, nous avons calculé et retenu quelques biomasses et des densités pour les 17 secteurs inventoriés.

a. Densités de salmonidés

Les densités en truite par groupe d'âge 0+, 1+ et > 1+ et celles en saumon 0+, 1+ et >1+ sont exprimées dans cette étude en **nombre d'individus / 100 m² d'habitat favorable**, comme dans les travaux de Parra et al. (2012).
En effet, tous les secteurs d'inventaire piscicole n'ont pas la même proportion d'habitats favorables aux juvéniles de salmonidés (plat courant, radier, rapide). Aussi, afin de permettre les comparaisons il a fallu harmoniser les données des différents secteurs. Ce ne sont donc pas les densités par rapport à la surface totale réelle pêchée qui ont été calculées, mais les densités relatives aux surfaces d'habitats favorables.
Par souci de simplification, la surface d'habitat favorable de chaque secteur de pêche a été choisie identique pour les 4 catégories de salmonidés (TRF0+, TRF1+, SAT0+ et SAT1+) même s'il est connu que les préférendums diffèrent un peu entre ces groupes (Porcher & Baglinière, 2011 ; Ombredane et al., 2011).

Pour évaluer les potentialités de production des cours d'eau en juvéniles de saumon, les surfaces d'équivalent radier/rapide (faciès favorables au juvéniles de saumon) ont été calculées par Prévost & Porcher (1996) sur la base de la quantification des différents faciès d'écoulement. Ainsi chez ces auteurs, les radiers et les rapides (favorables aux juvéniles de saumon) ont été dotés d'un coefficient égal à 1, les plats d'un coefficient égal à 0,2 et les profonds d'un coefficient 0. Ils proposent donc la formule suivante pour estimer la surface de production (Sp) en juvéniles de saumon :

*Sp = 1 * Surface Rap + 1 * Surface Rad + 0.2 * surface PC + 0.2 * surface PL + 0* surface P*

Dans cette étude, pour un secteur de pêche donné, la surface d'habitat favorable aux juvéniles de salmonidés a été évaluée par la formule suivante :

*1 * surface Rad + 0.5 * surface Rap + 0.5 * surface PC + 0.2 * surface PL+ 0 * surface P*

Cette formule s'inspire des modalités de calcul de Prévost & Porcher (1996) pour l'estimation de la surface de production du saumon atlantique. Dans la mesure où une classification en 5 catégories a été retenue dans cette étude, ont été donnés des coefficients de 1 aux radiers, de 0.2 aux plats lents et de 0 aux profonds comme chez Prévost et Porcher (1996). Le coefficient de 0.5 attribué aux rapides tient compte du fait que les préférendums de vitesse de courant sont plus faibles pour la truite (Haury et al., 1991). Les plats courants étant souvent très proches géomorphologiquement des radiers, un coefficient de 0.5 leur a été attribué (contre 0.2 par Prévost & Porcher (1996)).

Pour les différents secteurs de pêche, nous avons donc calculé les densités de truite commune 0+ (**Dens_TRF0**), 1+ (**Dens_TRF1**), >0+ (**Dens_TRF>0**) et >1+ (**Dens_TRF>1**) et les densités de saumon atlantique 0+ (**Dens_SAT0**), 1+ (**Dens_SAT1**), >0+ (**Dens_SAT>0**) et >1+ (**Dens_SAT>1**), ainsi que la densité de salmonidés (truites et saumons ensemble) 0+ an (**Dens_Salmo0**) et 1+ an (**Dens_Salmo1**).

b. Biomasse

Nous n'avons pas retenu les densités des autres espèces que les salmonidés dans ce travail. Cependant, pour tenir compte de la compétition inter-spécifique, nous avons pris en compte la biomasse Aussi, il a été retenu la biomasse totale pêchée (toutes espèces confondues), notée **biomasse** et exprimée en g par 100 m^2 de secteur de pêche (surface totale du secteur et non surface d'habitat favorable aux salmonidés)

2.4. *Analyses statistiques*

Les analyses statistiques ont été conduites avec le logiciel R (version 3.6.1 ; R Development Core Team 2020).

2.4.1. Comparaison de moyennes

Afin de comparer les tailles moyennes des truites communes et saumons atlantiques à 0+ et 1+ an, nous avons réalisé des tests non paramétriques de Wilcoxon. Les échantillons de chacune des espèces à âge égal sont considérés comme appariés mais ne présentant pas de distribution normale.
Des analyses de la variance à un facteur (ANOVA) couplées à des tests DSH (différence significative honnête) de Tukey ont été réalisés pour les truites et saumons d'âge 0+ et 1+ afin de comparer les tailles moyennes des différents secteurs de pêche. Les hypothèses inhérentes à l'ANOVA, à savoir la normalité des résidus et l'homogénéité des variances, ont été vérifiées et des transformations logarithmiques (log) ont été appliquées lorsque cela était nécessaire.

2.4.2. Sélection des variables explicatives pour la modélisation

Enfin, des modèles linéaires mixtes ont été élaborés afin de déterminer quels facteurs biotiques et/ou abiotiques ont un effet sur la longueur à la fourche des individus 0+ et 1+ de truite commune et des individus 0+ de saumon atlantique. Aucun modèle n'a été réalisé pour les saumons atlantiques 1+ en raison du peu de secteurs abritant de tels individus et de leurs très faibles effectifs.

Dans un premier temps, nous avons opéré une sélection des variables explicatives les plus pertinentes à l'aide de matrices de corrélation (package corrplot, Wei, 2017) afin d'éviter les problèmes de multi-colinéarité lors de la modélisation (Zuur et al., 2009). Lorsque le coefficient de corrélation de Pearson de deux variables était élevé ($|r| \geq 0.7$), seule l'une des deux variables était retenue. Le choix de la variable à conserver s'est basé sur la pertinence biologique de son utilisation pour la modélisation. Lorsque deux variables semblaient l'une comme l'autre pertinentes, le critère relatif à la difficulté d'acquisition des données était pris en compte. Ainsi, les variables dont l'acquisition des données est considérée comme simple ont été préférées. Au cours de cette étape, des variables supplémentaires ont été créées. Ces nouvelles variables résultent de la fusion de

variables corrélées entre elles. Par exemple, ont été calculés l'indice global de ripisylve (Rip) ainsi que les pourcentages relatifs de faciès lotiques (% PC+Rad+Rap) et lentiques (% P+PL).

Initialement, les variables explicatives possibles sont au nombre de 35 pour la croissance au stade 0+ an et de 40 pour la croissance au stade 1+ an (Tableau 4)
Des matrices de corrélation par catégorie de variables ont d'abord été réalisées pour « éliminer » le plus grand nombre de variables. Puis des matrices de corrélation pour les deux stades de croissance 0+ et 1+ an ont été établies. Elles sont présentées en annexe 2.
Ainsi, un maximum de 7 variables explicatives non corrélées a été retenu pour les modèles linéaires mixtes.

2.4.3. Les modèles linéaires simples et mixtes

Quelques régressions linéaires réalisées simples ont permis d'avoir une première approche du rôle des facteurs influençant la croissance les plus connus Le fonction Droitereg de excel a été utilisé

Puis, un modèle complet reprenant les 7 variables explicatives sélectionnées (V1 à V7) a été établi. Par exemple :

$$\text{Longueur à la fourche}_i = \beta_0 + \beta_1 * V1 + \beta_2 * V2 + \beta_3 * V3 + \beta_4 * V4 + \beta_5 * V5 + \beta_6 * V6 + \beta_7 * V7_i + (1 + \text{Secteur}_i) + \varepsilon_{i.}$$

$$\text{Avec Secteur}_i \sim N(0, \sigma^2) \text{ et } \varepsilon_{i.} \sim N(0, \sigma^2)$$

Dans ce modèle de type intercept aléatoire, le secteur est considéré comme un facteur à effet aléatoire afin de prendre en compte la dépendance des individus statistiques dans le jeu de données. Dans un second temps, des modèles à priori ont été développés pour chaque groupe de salmonidés. Le meilleur modèle a été sélectionné en se basant sur le Critère d'Information d'Akaike corrigé (AICc) proposé par le package AICcmodavg.
Tous les modèles ont été générés à l'aide de la fonction lmer du package lme4 prenant donc en compte une distribution gaussienne (loi normale) des résidus. Les hypothèses d'homogénéité des variances et de normalité des résidus des modèles ont été vérifiées à l'aide de fitted versus residual plots et de qqnorm plots. Des transformations logarithmiques (log) de la variable à expliquer et de certaines variables explicatives ont été effectuées lorsque cela était nécessaire.

Tableau 4 : Synthèse des variables explicatives possibles pour les modèles de croissance

<table>
<tr><th>Pour le stade 0+ an</th><th>Pour le stade 1+ an</th></tr>
<tr><td colspan="2">Largeur : Largeur moyenne du secteur d’inventaire piscicole
Surf_BV : Surface de bassin versant drainée jusqu’au milieu de chaque secteur
Dist_sources : Distance en km
Fract : Fractionnement, soit le nombre de faciès d’écoulement différentspar km, sur le secteur d’inventaire
Alt : Altitude en m au centre du secteur d’inventaire
Pente : Pente en % d’un tronçon de 500 mètres incluant le secteur de pêche
Dist_mer : Distance en km à la confluence du Kerlouzouen et du Léguer au niveau de Lannion</td></tr>
<tr><td colspan="2">% P : Pourcentage de Profonds P dans le secteur d’inventaire piscicole
% PL : Pourcentage de Plats lents PL dans le secteur d’inventaire piscicole
% PC : Pourcentage de Plats courants PC dans le secteur d’inventaire piscicole
% Rad : Pourcentage de Radiers Rad dans le secteur d’inventaire piscicole
% Rap : Pourcentage de Rapides Rap dans le secteur d’inventaire piscicole
% PC+Rad : % RD + % PC, pourcentage des faciès les plus favorables aux Juvéniles de salmonidés
% PC+Rad+Rap : % PC+%Rad+%Rap, ce qui correspond au pourcentage de faciès lotiques
% P+PL : %P + %PL, ce qui correspond au pourcentage de faciès lentiques.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Veg_aqua : pourcentage de recouvrement par de la végétation aquatique
Omb : note d’ombrage (de 0 : ombrage nul à 3 : très ombragé) sur le secteur d’inventaire
Rip0 : Pourcentage du linéaire du secteur d’inventaire sans ripisylve arborée
Rip1 : Pourcentage du linéaire du secteur d’inventaire avec une ripisylve arborée sur une berge
Rip2 : Pourcentage du linéaire du secteur d’inventaire avec une ripisylve arborée sur les deux berges
Rip : (Rip0*0 + Rip1*1 + Rip2*2)/2, % de berges (droite et gauche confondues) avec une ripisylve arborée</td></tr>
<tr><td>Tp0 : Température moyenne en °C lors du printemps (01/03/n au 31/05/n) qui précède l’inventaire pour les salmonidés 0+ de l’année n
Te0 : Température moyenne en °C lors de l’été (01/06/n au 30/09/n) qui précède l’inventaire pour les salmonidés 0+ de l’année n
DJ0 : somme de degré-jours au-dessus de 0°C du début du printemps de l’année n (01/03/n) jusqu’à la veille de la date de l’inventaire pour les 0+</td><td>Tp-1 : Température moyenne en °C lors du printemps (01/03/n-1 au 31/05/n-1) pour les individus 1+ nés l’année n-1 et capturés l’année n
Te-1 : Température moyenne en °C lors de l’été (01/06/n-1 au 30/09/n-1) pour les individus 1+ nés l’année n-1 et capturés l’année n
Ta-1 : Température moyenne en °C lors de l’automne (01/10/n-1 au 30/11/n-1) pour les individus 1+ nés l’année n-1 et capturés l’année n
Th-1 Température moyenne en °C lors de l’hiver (01/12/n-1 au 28/05/n) pour les individus 1+ nés l’année n-1 et capturés l’année n
Tp1 : Température moyenne en °C lors du printemps (01/03/n au 31/05/n) qui précède l’inventaire pour les salmonidés 1+ nés l’année n-1
Te1 : Température moyenne en °C lors de l’été (01/06/n au 30/09/n) qui précède l’inventaire pour les salmonidés 1+ nés l’année n-1
DJ1 : somme des degrés-jours du début du printemps de l’année n-1 à la veille de l’inventaire de l’année n pour les individus 1+
DJ-1 : somme des degrés-jours du printemps et de l’été de l’année n-1 pour les juvéniles capturés à 1+ an l’année n</td></tr>
<tr><td colspan="2">Dens_TRF0 : Densité en Truite d’âge 0+, exprimée en ind/100 m² d’habitat favorable
Dens_TRF1 : Densité en Truite d’âge 1+, exprimée en ind/100 m² d’habitat favorable
Dens_TRF>0 : Densité en Truite d’âge supérieur à 0+, exprimée en ind/100 m² d’habitat favorable
Dens_TRF>1 : Densité en Truite d’âge supérieur à 1+, exprimée en ind/100 m² d’habitat favorable
Dens_SAT0 : Densité en Saumon d’âge 0+, exprimée en ind/100 m² d’habitat favorable
Dens_SAT1 : Densité en Saumon d’âge 1+, exprimée en ind/100 m² d’habitat favorable
Dens_SAT>0 : Densité en Saumon d’âge supérieur à 0+, exprimée en ind/100 m² d’habitat favorable
Dens_SAT>1 : Densité en Saumon d’âge supérieur à 1+, exprimée en ind/100 m² d’habitat favorable
Dens_Salmo0 : Dens_TRF0 + Dens_SAT0
Dens_Salmo1 : Dens_TRF1 + Dens_SAT1
Biomasse : biomasse toutes espèces confondues exprimée en g/100 m² de secteur de pêche</td></tr>
</table>

3. Résultats

3.1. Quelques corrélations entre variables potentiellement explicatives de la croissance

Sur la base de matrices de corrélation, certaines relations entre variables explicatives de la croissance ont pu être mises en évidence

3.1.1. Variables de localisation et de caractéristiques générales des secteurs

Trois variables sont très corrélées entre elles (coefficients de corrélation > 0,94) : la largeur du secteur, la surface du bassin versant et la distance aux sources. Ainsi, sur le Léguer comme sur la plupart des cours d'eau, la surface du bassin versant et la largeur sont d'autant plus grandes que la distance aux sources est importante.
D'autres facteurs sont nettement moins corrélés entre eux

- L'altitude et la distance aux sources (-0.61), car il y a dans le jeu de données, des petits affluents aval du Léguer
- La largeur et le fractionnement (-0.60) : en général, les cours d'eau de petite largeur présentent un fractionnement plus important (Ombredane et al., 1995), mais il y a dans le jeu de données certains secteurs d'inventaire sur de très petits ruisseaux très homogènes d'un point de vue faciès d'écoulement (Exemple : Le Dour Traou Breuder). Le jeu de données n'est pas adapté pour analyser cette relation : pas assez de données, secteurs de trop petite longueur, …
- De même la corrélation entre la pente et le fractionnement (0.61) n'est pas très forte.

3.1.2 Ombrage et ripisylve

La corrélation entre la note d'ombrage et le pourcentage de linéaire de secteur ayant une ripisylve arborée sur les deux berges Rip2 est élevée (0.82). Celle entre l'ombrage et l'absence de ripisylve arborée, négative, est nettement moins bonne (-0.67)
L'utilisation de l'indice global de ripisylve Rip, qui tient compte aussi du linéaire avec de la ripisylve arborée sur une seule berge améliore la corrélation avec l'ombrage (0.85).
Par ailleurs, l'ombrage Omb est corrélé négativement à la surface du Bassin versant surf_BV (coef de corrélation = -0.62). En aval du bassin versant les secteurs sont donc plus éclairés. Cela est très logique du fait de l'élargissement du cours d'eau (concept du River Continuum Concept de Vannote et al. (1980))

3.1.3. Densité en juvéniles de saumon et positionnement géographique du secteur

Les densités en juvéniles de saumon 0+ et 1+ ne sont pas corrélées à la distance à la mer Dist_mer sur le Léguer (respectivement corrélation de 0,24 et 0,30). Par contre, ses densités sont bien corrélées la surface du bassin versant surf_BV (respectivement corrélations de 0,61 et 0,82 avec les densités de SAT 0+ et SAT 1+). Cela pourrait traduire les besoins des Saumons adultes pour la reproduction en matière de profondeur notamment.
Aucune corrélation n'a été trouvée entre les densités en truite 0+ et 1+ ni avec la distance à la mer, ni avec la surface du Bassin versant.

3.1.4. Variabilité thermique sur le bassin versant

Les températures moyennes estivales Te et Te-1 sont d'autant plus élevées que la surface du bassin versant drainé est importante (Coef de corrélation : 0.67, 0.70), que la largeur du cours d'eau est grande (Coef de corrélation : 0.70, 0.74), que la distance aux sources est importante (Coef de corrélation : 0.75, 0.77). Elles sont d'autant plus faibles que l'altitude est importante (coef de corrélation de -0.69). Cela traduit le classique réchauffement des eaux de l'amont vers l'aval en été sur les cours d'eau (Hubert, 1998)
Ce phénomène n'est pas mis en évidence au printemps. Seules des corrélations moins fortes négatives avec l'altitude (-0.62) et avec la distance à la mer (-0.63) sont trouvées.
Concernant les températures moyennes automnales, elles sont d'autant plus faibles que l'altitude est élevée (coef de corrélation : -0.65)
Quant aux températures moyennes hivernales, elles ne montrent aucune corrélation avec des variables de positionnement spatial.

Ces variations saisonnière et spatiale de la température sur le réseau hydrographique du Léguer sont illustrées aux figures 2a et 2b. Les gradients amont-aval estivaux et printaniers sont plus marqués sur la „branche" du Guic (Figure 2b) que sur celle du Guer (Figure 2a)

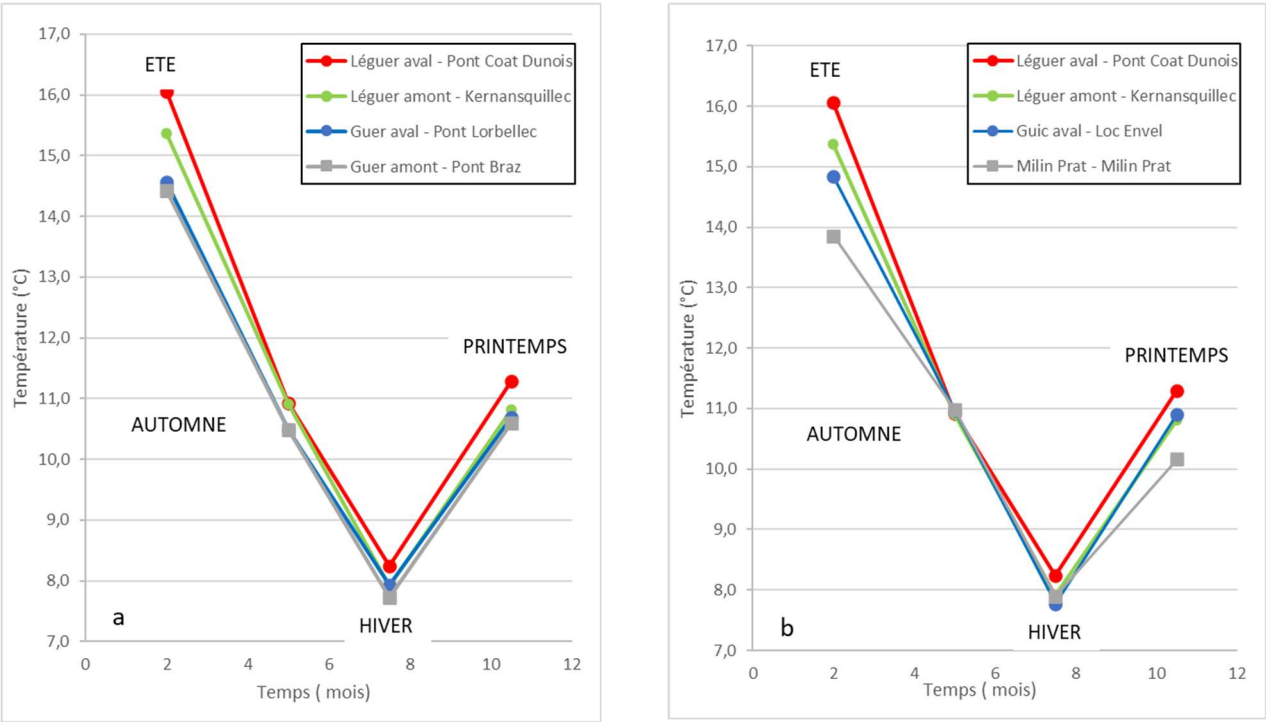


Figure 2: Evolution des températures saisonnières de 2017 (printemps du 01/03 au 31/05, été du 01/06 au 30/09, automne du 01/10 au 30/11 et hiver du 01/12 au 28/02).sur le réseau du Léguer. a : du Guer amont au Léguer aval et b : du Bassin versant du Guic amont sur le Milin ar Prat au Léguer aval

Le classement des secteurs en fonction des températures saisonnières est inchangé si on se réfère à la température estivale des années 2018 (n) et 2017 (n-1) (coef de corrélation entre Te1 et Te-1 = 0,96). La corrélation entre les températures printanières des années n et n-1 est elle aussi élevée (coef de corrélation entre Tp1 et Tp-1 = 0.85).

On constate aussi une corrélation assez forte entre la température moyenne au printemps et celle de l'été (Coef de corrélation Tp1 et te1 et entre Tp-1 et Te-1 respectivement de 0,70 et 0,86)

3.1.5. Biomasse piscicole et salmonidés

Le Léguer est une rivière à salmonidés dominants de très bonne qualité. La biodiversité piscicole y est relativement faible dans les affluents. La matrice de corrélation entre les différents facteurs explicatifs met en évidence qu'il y a une corrélation importante entre la biomasse totale du secteur et la densité de salmonidés de 1+ an densité_salmo1" (truite et saumon confondus) (coefficient de corrélation = 0,77)

3.2. Croissance comparée de la truite commune (S. trutta) et du saumon atlantique (S. salar)

Il s'agit de comparer à âge égal (0+ an et 1+ an) les longueurs à la fourche des deux espèces de salmonidés présentes sur le bassin versant du Léguer.

3.2.1. Individus âgés de 0+ an

Le test de Wilcoxon, visant à comparer les tailles moyennes des 409 individus 0+ an de truite commune, TRF (72,36 ± 11,09 mm) et 753 individus 0+ an de saumon atlantique, SAT (72,47 ± 9,87 mm) indique qu'il n'y a pas de différence significative de la croissance entre les deux espèces (p-value > 0,05 ; Figure 3).

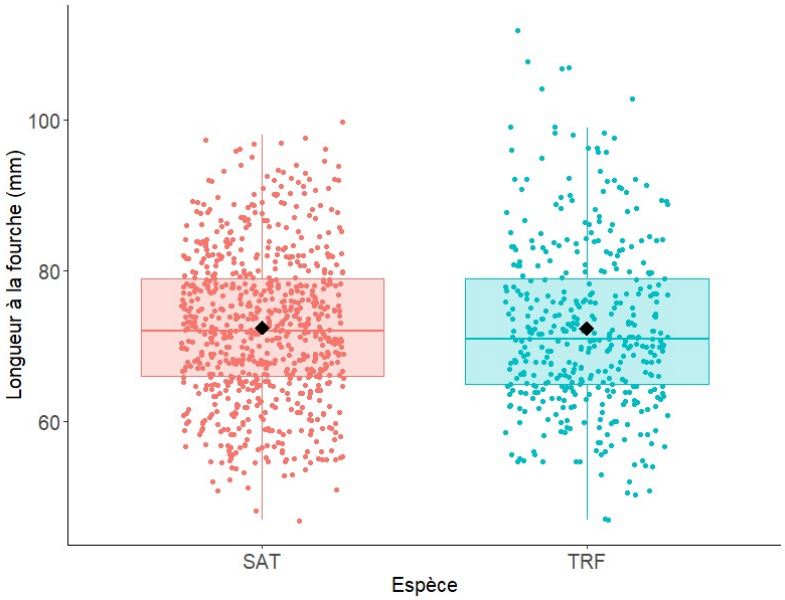


Figure 3 : Comparaison de la longueur à la fourche moyenne des individus 0+ an de truite commune (TRF) et du saumon atlantique (SAT) sur le bassin du Léguer au début de l'automne. Le losange noir représente la longueur à la fourche moyenne de chaque espèce.

3.2.2. Individus âgés de 1+ an

Le test de Wilcoxon indique que la truite commune (n= 392 individus ; Lf moyenne = 138,33 ±17,36 mm) présente une taille moyenne significativement (p-value < 0,001) supérieure à celle du saumon atlantique (n= 196 individus ; 124,58 ±10,33 mm) (Figure 4).

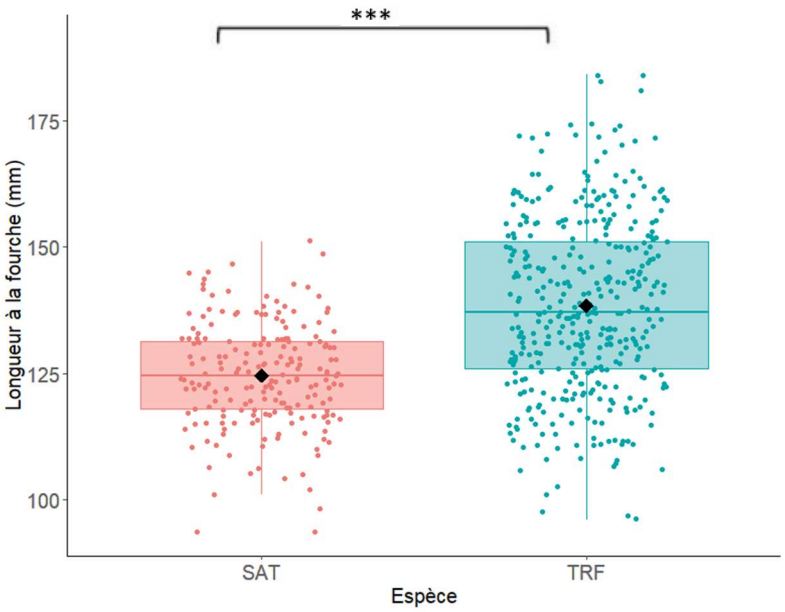


Figure 4 : Comparaison de la longueur à la fourche moyenne des individus 1+ an de truite commune (TRF) et du saumon atlantique (SAT) sur le bassin du Léguer au début de l'automne. Le losange noir représente la longueur à la fourche moyenne de chaque espèce.

3.3. Hétérogénéité spatiale de la croissance des juvéniles de la truite et du saumon sur le Léguer

D'une part il s'agit de mettre en évidence ou non les différences de croissance des deux espèces aux âges 0+ et 1+ an entre les 17 secteurs d'inventaire piscicole du bassin versant du Léguer (Tableau 5). D'autre part, il convient d'apprécier les ressemblances et/ou les différences des résultats de ce travail, appelée « approche populationnelle » avec ceux obtenus pour la truite sur la base du rétrocalcul des tailles à 1 et 2 ans par Dadure (2019) sur 15 zones du Léguer (approche « scalimétrique »).

3.3.1. Hétérogénéité spatiale de la croissance chez les juvéniles de truite (*S. trutta*)

Les résultats des ANOVA indiquent des différences significatives entre les secteurs ($p < 0,001$) des tailles moyennes chez les truites communes aux âges 0+ et 1+ an.

a. Individus âgés de 0+ an

Concernant les individus 0+ an, la taille moyenne la plus importante correspond au secteur de Coatgouréden sur le Guer amont (100,60 ± 10,11 mm, n=5) où cependant seulement 5 individus ont été capturés. Les tailles moyennes les plus faibles sont celles rencontrées sur les secteurs du pont de Lorbellec du Guer aval (62,80 ± 6,70 mm ; n=13), de Keraël sur le Kerlouzouen amont (64,10 ± 8,70 mm ; n=57) et du Milin ar Prat (63,70 ± 8,10 mm ; n=77) (Tableau 5 et Figure 5 A).

Tableau 5 : Longueurs à la fourche automnale moyennes (LF) et écarts-types pour la truite commune (TRF) et le saumon atlantique (SAT) d'âge 0+ et 1+ an par secteur d'inventaire sur le bassin Léguer. Les lettres a, b, c et d indiquent des différences significatives (Test DSH de Tukey) entre les secteurs au sein de chaque groupe d'individus (TRF0, TRF1, SAT0 et SAT1).

Rivière	Zone (Dadure, 2019)	Secteur	LF_TRF0	LF_TRF1	LF_SAT0	LF_SAT1
Léguer	Léguer aval	Pont Coat Dunois	83,70 ± 4,60^{a,b}	156,20 ± 9,80^{a}	69,30 ± 8,00^{b}	123,20 ± 7,20^{a,b}
Léguer	Léguer amont	Kernansquillec	73,80 ± 7,90^{b,c}	154,40 ± 12,40^{a}	78,30 ± 7,90^{a}	129,10 ± 8,90^{a,b}
Guer	Guer aval	Pont de Lorbellec	62,80 ± 6,70^{c}	124,80 ± 15,80^{c,d}	59,30 ± 4,70^{c,d}	115,00 ± 7,50^{b,c}
Guer	Guer amont	Pont Braz	84,50 ± 13,30^{a,b}	138,80 ± 13,70 ^{a,b,c,d}	64,50 ± 4,90^{b,c,d}	NA
Guer	Guer amont	Coatgouréden	100,60 ± 10,11^{a}	NA	NA	NA
Guic	Guic aval	Loc Envel	73,74 ± 10,08^{b,c}	141,37 ± 15,23^{a,b}	72,71 ± 8,00^{a,b}	128,00 ± 10,57^{a,b}
Guic	Guic amont a	Moulin du Dour Guidou	69,30 ± 7,80^{b,c}	141,20 ± 17,50^{a,b,c}	66,40 ± 6,80^{b,c}	127,40 ± 5,50^{a,b}
Guic	Guic amont b	Le Kerret	76,38 ± 10,55^{b}	156,00 ± NA	NA	NA
Kerlouzouen	Kerlouzouen aval	Quinquis	66,40 ± 6,70^{b,c}	117,10 ± 10,90^{d}	NA	118,00 ± 6,00^{a,b,c}
Kerlouzouen	Kerlouzouen amont	Keraël	64,10 ± 8,70^{c}	122,30 ± 9,80^{c,d}	NA	NA
Saint-Ethurien	Saint-Ethurien	Kerbiquet	75,30 ± 8,40^{b}	131,30 ± 17,40^{b,c,d}	83,70 ± 13,20^{a}	129,30 ± 8,80^{a,b}
Frout	Frout	Moulin du Frout	75,20 ± 8,80^{b}	147,00 ± 15,90^{a,b}	72,20 ± 8,00^{a,b}	NA
Lan Scalon	Lan Scalon	Pont Kernevez	69,40 ± 8,10^{b,c}	145,50 ± 15,50^{a,b}	70,30 ± 7,50^{b}	130,80 ± 3,10^{a}
Lan Scalon	Lan Scalon	Milin ar Lan	80,80 ± 12,60^{a,b}	138,80 ± 10,00^{a,b,c,d}	NA	NA
Milin ar Prat	Milin ar Prat	Milin ar Prat	63,70 ± 8,10^{c}	126,10 ± 14,90^{c,d}	57,70 ± 5,10^{c,d}	104,10 ± 2,40^{c}
Saint-Emilion	Saint-Emilion	Moulin de Keruel	72,90 ± 10,10^{b,c}	129,60 ± 14,00^{b,c,d}	55,80 ± 3,40^{d}	116,00 ± 7,10^{a,b,c}
Dour Traou Breuder	–	Kernavanet	70,60 ± 7,30^{b,c}	NA	NA	NA

Notes : La longueur à la fourche moyenne du secteur le Kerret pour le groupe TRF1 ne comporte pas d'écart type puisqu'un seul individu a été pêché. Ce secteur n'a donc pas été pris en compte pour l'ANOVA ni pour le modèle linéaire mixte des truites communes 1+.

Ces résultats sont comparés à ceux obtenus par Dadure (2019) portant sur les tailles rétrocalculées à 1 an sur les zones, incluant les secteurs d'inventaire piscicole de cette étude (Figure 5 B). Selon l'approche « scalimétrique » employée par Dadure, la zone du Milin ar Prat présente la croissance la plus faible à 1 an tout comme dans l'approche « populationnelle » de cette étude. Concernant les autres secteurs d'inventaire, il n'y a pas de correspondance nette entre les deux approches employées. Par exemple selon l'approche « scalimétrique », la croissance la plus importante a lieu dans la zone du Guer aval tandis que selon l'approche populationnelle, le secteur d'inventaire localisé dans cette zone, Pont de Lorbellec, présente une croissance des 0+ de truite parmi les plus faibles.

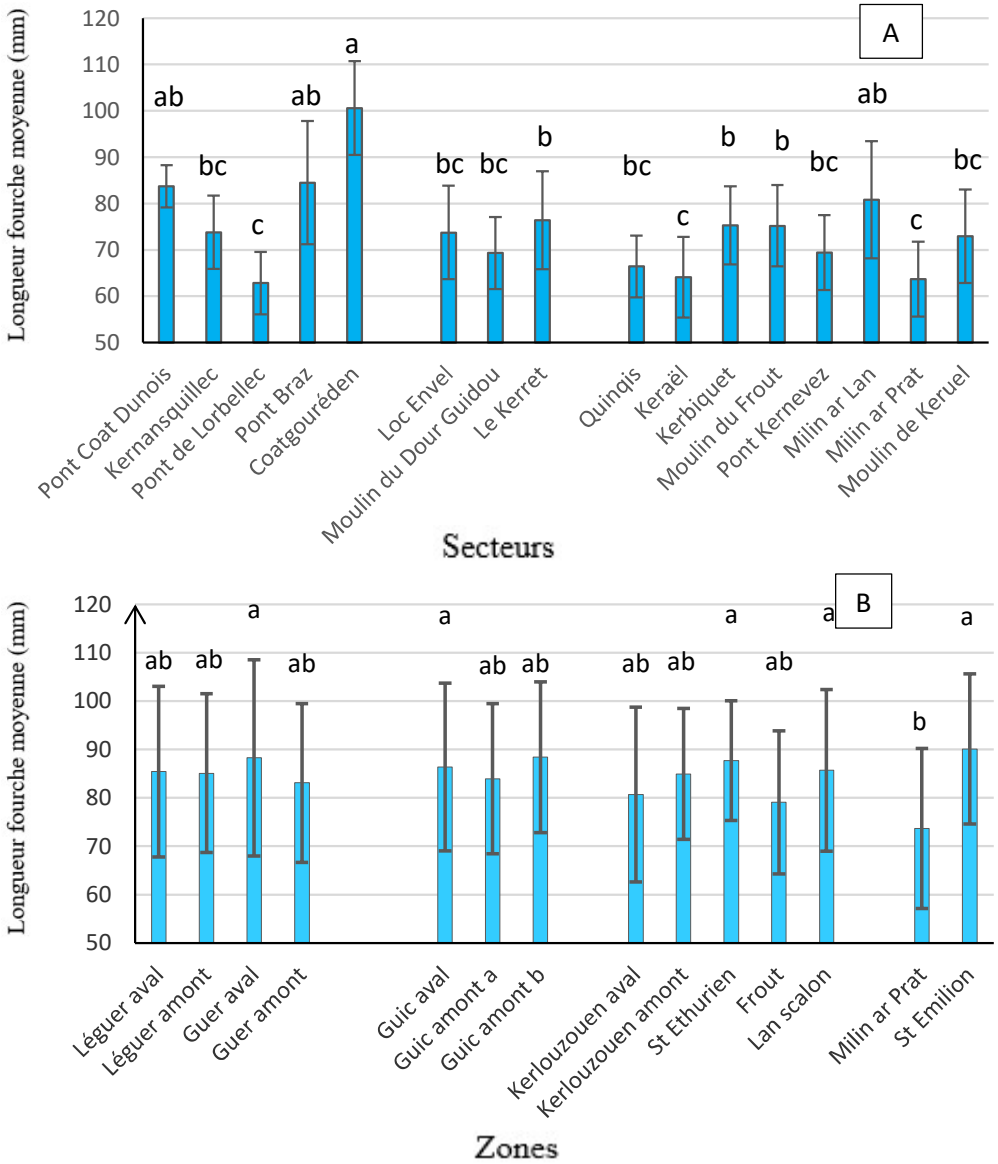


Figure 5 : Longueurs à la fourche moyennes de la truite commune sur le bassin versant du Léguer (A) à 0+ an sur les secteurs d'inventaire piscicole (approche « populationnelle ») et (B) à 1 an dans les zones (approche « scalimétrique » ; d'après Dadure, 2019). Avec a, b, ab, bc et c représentant les groupes de similarité.

b. Individus âgés de 1+ an

Concernant les individus 1+ an, les tailles moyennes les plus importantes sont celles des secteurs de Kernansquillec (154,40 ± 12,40 mm ; n=24) et Pont Coat Dunois (156,20 ± 9,80 mm ; n=14) sur le Léguer en aval de Belle Isle en Terre. Par contre la taille moyenne la plus faible correspond au secteur du Quinquis sur le Kerlouzouen aval (117,10 ± 10,90 mm ; n=17) (Tableau 5 et Figure 6 A).

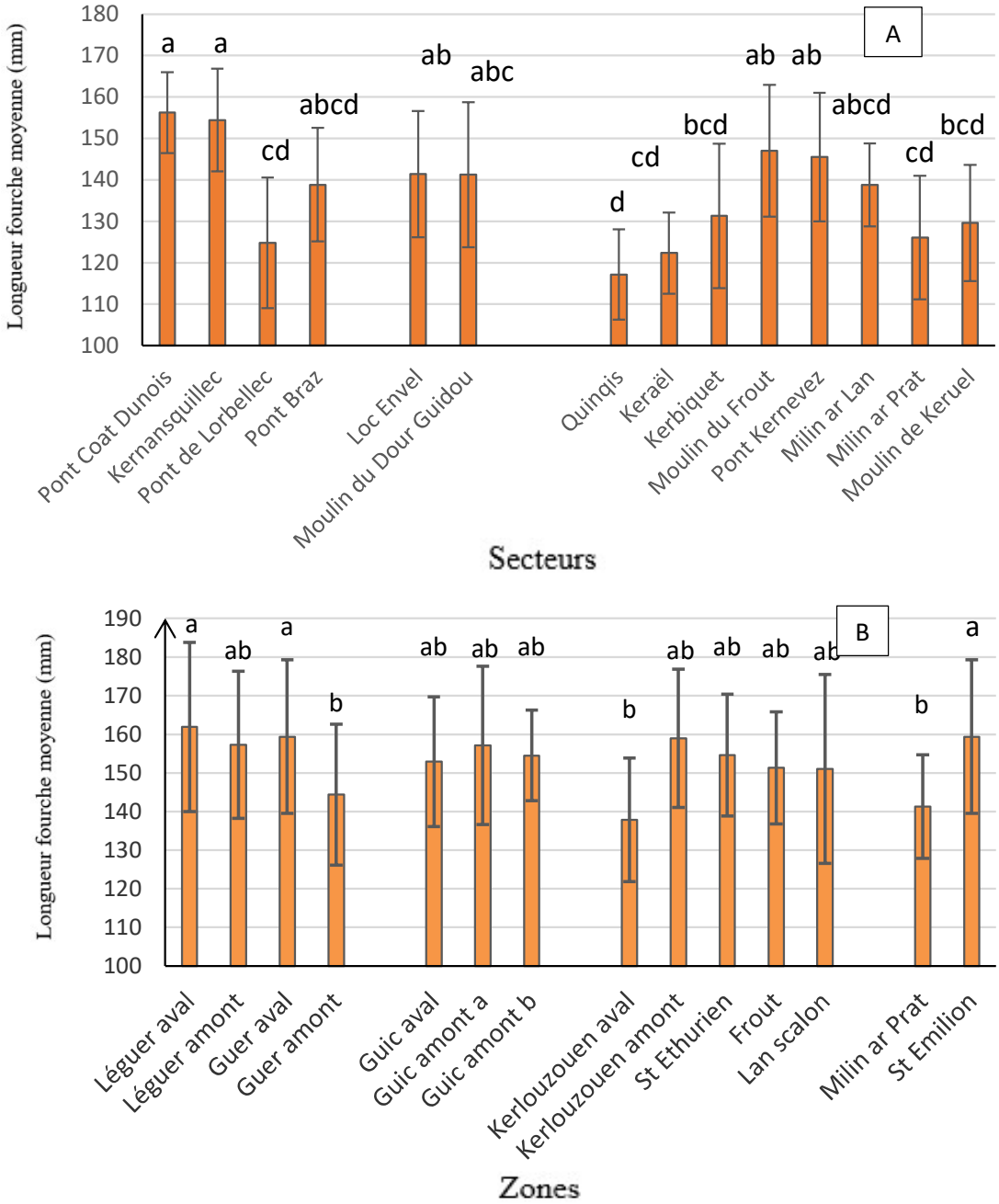


Figure 6 : Longueurs à la fourche moyennes de la truite commune sur le bassin versant du Léguer (A) à 1+ an sur les secteurs d'inventaire piscicole (approche « populationnelle ») et (B) à 2 ans dans les zones (approche « scalimétrique » ; d'après Dadure, 2019). Avec a, ab, abc, abcd, bcd, cd et d représentant les groupes de similarité.

De la même manière, les résultats de cette étude sont comparés à ceux obtenus par Dadure (2019) portant sur les tailles rétrocalculées à 2 ans (Figure 6 B). Les croissances les plus fortes à l'issu des

deux premières années qui suivent l'émergence des alevins sont rencontrées dans le Léguer en aval de Belle Isle en Terre (zones Léguer aval et amont ; Secteur de Pont Coat Dunois et Kernansquillec). Cette similitude des résultats vaut aussi pour les croissances les plus faibles : notamment dans la zone du Kerlouzouen aval et celle du Milin ar Prat pour l'étude de Dadure (2019), zones où sont localisés respectivement les secteurs d'inventaire piscicole du Quinquis et du Milin ar Prat qui présentent eux aussi de faibles tailles moyennes.
Toutefois, dans l'approche « scalimétrique », la zone du Guer aval présente une forte croissance tandis que dans l'approche « populationnelle », le secteur correspondant du pont de Lorbellec a une faible croissance. Un même constat est donc fait pour les truites 0+ et 1+.

3.3.2. Hétérogénéité spatiale de la croissance chez le saumon atlantique (*S. salar*)

Les résultats des ANOVA indiquent que les tailles moyennes des saumons atlantiques 0+ et 1+ an diffèrent significativement entre les secteurs ($p < 0,001$).

a. Individus âgés de 0+ an

Chez les individus 0+ an, les tailles moyennes les plus importantes se situent sur les secteurs de Kernansquillec (78,30 ± 7,90 mm ; n=275) sur le Léguer amont et de Kerbiquet (83,70 ± 13,20 mm ; n=9) sur le St Ethurien tandis que les plus faibles se trouvent sur les secteurs du moulin de Keruel (55,80 ± 3,40 mm ; n=20) sur le St Emilion et du Milin ar Prat (57,70 ± 5,10 mm ; n=9) sur le Milin ar Prat (Tableau 5). Comme pour les truites 0+ an, le secteur du Milin ar Prat se distingue par sa faible croissance.

b. Individus âgés de 1+ an

Chez les individus 1+ an, la taille moyenne la plus importante correspond au secteur du pont de Kernevez (130,80 ± 3,10 mm ; n=4) sur le Lan Scalon aval et la plus faible est celle du secteur du Milin ar Prat (104,10 ± 2,40 mm ; n=3) sur le Milin ar Prat (Tableau 5). Cependant, le faible nombre d'individus impose de la prudence dans la fiabilité statistique des résultats. On remarque cependant que les secteurs à faible et forte croissance ne diffèrent pas entre les truites et saumons d'âge 1+ an. En effet, les croissances les plus faibles se trouvent toujours sur les secteurs du pont de Lorbellec et du Milin ar Prat et par opposition, les secteurs de Pont Coat Dunois et Kernansquillec présentent tous les deux de fortes croissances.

3.4 Impact sur la croissance des principaux facteurs explicatifs pris individuellement

3.4.1. Rôle de la température sur la croissance

a) Croissance des truites et saumon 0+ an

Les truites 0+ sont présentes sur les 18 secteurs d'inventaires alors que les saumons ne sont présents en nombre supérieur à deux que sur 10 d'entre eux
Contrairement à ce qui était attendu, les longueurs fourches ne sont que très peu voire pas corrélées aux variables de température. Les meilleures relations sont présentées aux figures 6 et 7 mais ne présente malgré tout que des coefficients de détermination R^2 de 0,15 et de 0,13 respectivement pour les truites TRF0+ et saumons SAT 0+. Ainsi dans le jeu de données analysé, la température n'explique au maximum que 15% de la variabilité des longueurs à la fourche des juvéniles.

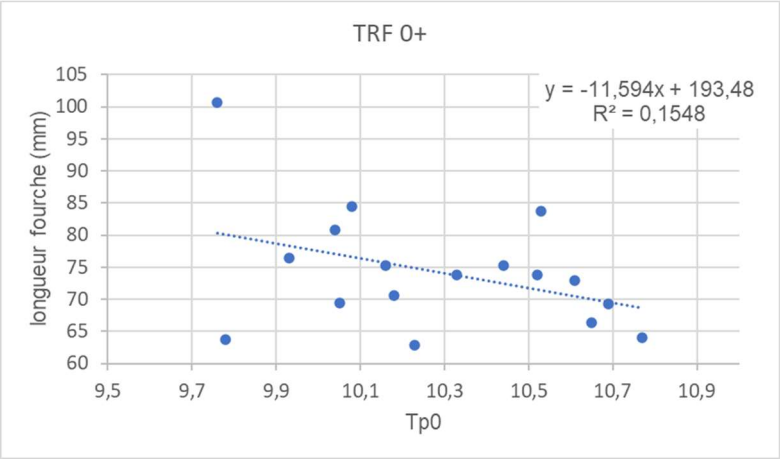


Figure 6 : Faible impact négatif de la température moyenne au printemps sur la croissance (longueur à la fourche) chez les juveniles de truite 0+

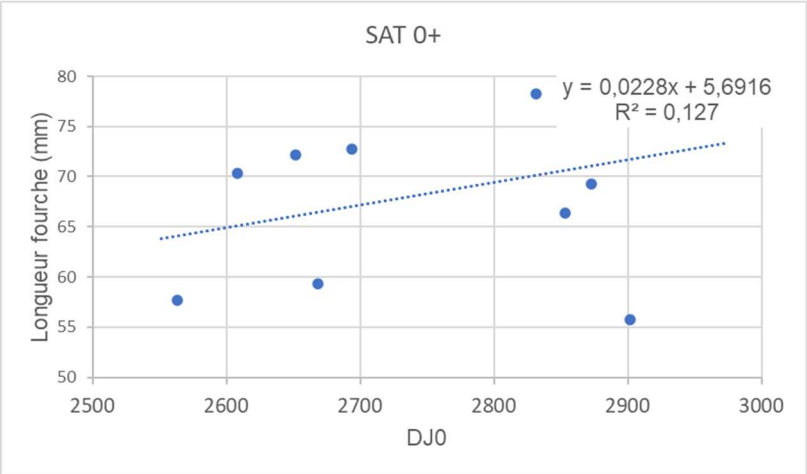


Figure 7 : Faible impact positif de la la somme de degrés jour (°J) cumulés jusqu'à la date d'inventaire sur le croissance (longueur à la fourche) chez les juveniles de saumon 0+

b. croissance des truites 1+ an

Là encore, la température n'explique que très peu la variance de la croissance linéaire de la truite à l'âge de 1+ an. Ce sont les températures estivales Te-1 de l'année de naissance (n-1) et celles Te1 l'année de l'inventaire (n) qui semblent jouer un petit rôle (figures 8 et 9)

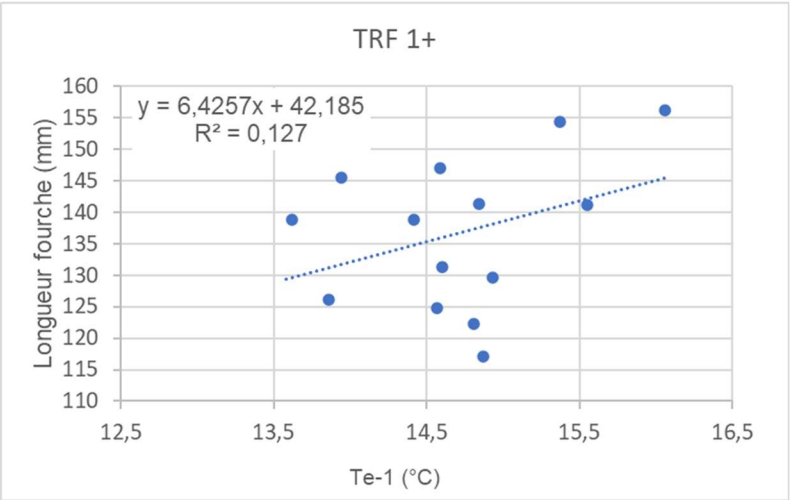


Figure 8 : Faible impact positif de la température moyenne l'été de l'année de naissance (n-1) sur la croissance (longueur à la fourche) chez les juveniles de truite 1+

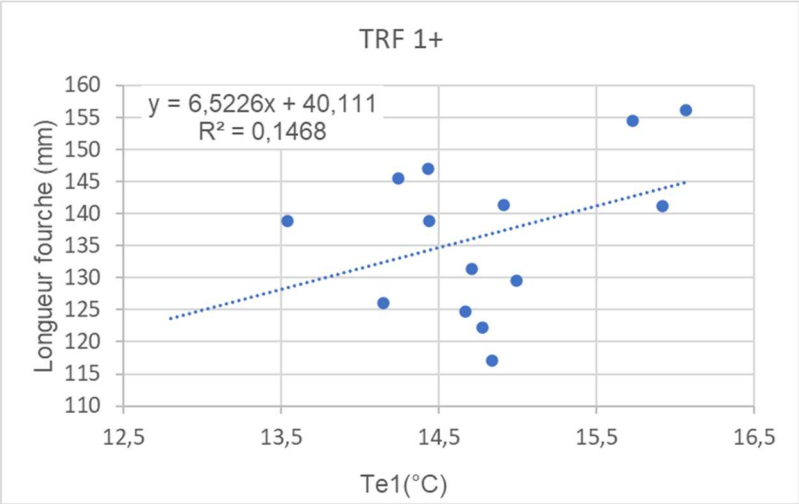


Figure 9 : Faible impact positif de la température moyenne l'été d'inventaire (n) sur la croissance (longueur à la fourche) chez les juveniles de truite 1+

Pour cette classe d'âge, les températures moyennes estivales expliquent moins de 15 % de la variabilité de la croissance linéaire des truites. Les coefficients de régression (pourcentage d'explication de la croissance) des droites sont respectivement de 0,13 et 0,15 pour les variables explicatives Te-1 et Te1.

3.4.2. Croissance des salmonidés à 0+ et 1+ an densité-dépendante

Dans le jeu de données de l'étude, la croissance des juvéniles de truite 0+ n'est que très légèrement influencée par la densité (par 100 m² de surface d'habitat favorable) de juvéniles de salmonidés 1+ (truite et saumon confondus). La variabilité de longueur fourche des truites 0+ n'est expliquée qu'à 7,2 % par leur densité par 100 m² d'habitat favorable (coefficient de corrélation = - 0,27). Le « pouvoir explicatif » par avec la densité de juvéniles de salmonidés 1+ an est légèrement supérieur 11% (coefficient de corrélation = - 0.33) Il est illustré à la figure 10).

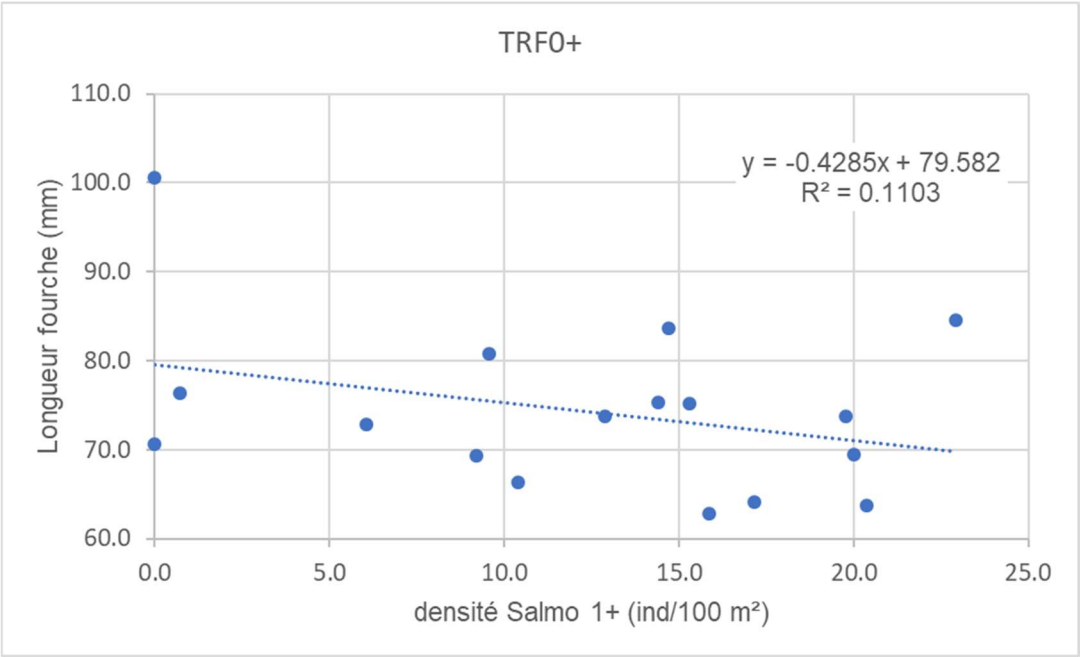


Figure 10 : Faible corrélation négative entre la croissance linéaire des juvéniles de truite 0+ et la densité (par unité de surface d'habitat favorable) de salmonidés (truite et saumon confondus) 1+ an .

Il n'y a pas assez de données pour mettre en évidence une relation logique (négative) entre la croissance des juvéniles de saumon 0+ et l'une ou l'autre des variables de densités de juvéniles de salmonidés.

De même il n'a pas été mis en évidence de relations cohérentes entre la croissance des truites à 1+ an et l'une ou l'autre des variables de densités de juvéniles de salmonidés.

3.4.3. Croissance des juvéniles de truite et faciès d'écoulement lotiques

La croissance des juvéniles de truite 0+ et 1+ est liée négativement au pourcentage de faciès lotiques (%PC+Rad+Rap) dans le secteur d'inventaire. Cette variable semblerait expliquer respectivement 32% et 35 % de la variabilités des longueurs à la fourche des truites 0+ et 1+ an.
Aucune corrélation entre %PC+Rad+Rap et la croissance n'a été mise en évidence pour les saumons 0+ an

3.5. *Modélisation multifactorielle de la croissance*

La faiblesse des corrélations entre la croissance des différentes catégories de juvéniles de salmonidés (TRF 0+, TRF 1+ et SAT 0+) et chacun des principaux facteurs explicatifs testés montre bien la nécessité de la modélisation multifactorielle.

Les 7 variables explicatives retenues permettent d'établir un modèle complet dont les coefficients β_i varient selon le groupe de juvénile auquel on s'intéresse. Les 7 variables sélectionnées permettent de mettre en avant des paramètres d'habitat (% PC+Rad+Rap, Rip), la température (DJi), de densité et de productivité du secteur (Biomasse). Les modèles seront du type :

$$\text{Longueur à la fourche}_i = \beta_0 + \beta_1 * \%PC+Rad+Rap_i + \beta_2 * Rip_i + \beta_3 * DJ_i + \beta_4 * Dens_SAT0_i + \beta_5 * Dens_TRF0_i + \beta_6 * Dens_Salmo1_i + \beta_7 * Biomasse_i + (1 + Secteur_i) + \varepsilon_{i.}$$

$$\text{Avec } Secteur_i \sim N(0, \sigma^2) \text{ et } \varepsilon_{i.} \sim N(0, \sigma^2)$$

Les modèles établis pour les trois catégories de juvéniles de salmonidés sont résumés dans le tableau 6

Tableau 6 : Intercepts et pentes des modèles linéaires mixtes les plus parcimonieux expliquant la croissance des truites 0+ an (TRF0), 1+ an (TRF1) et des saumons 0+ an (SAT0) sur les secteurs d'inventaire piscicole. Avec %PC+Rad+Rap = Pourcentage de faciès lotiques ; Rip = Pourcentage de ripisylve ; Inter. = Intercept ; DJ = Somme des degrés-jours ; Dens_TRF0 = Densité de truite commune 0+ ; Dens_SAT0 = Densité de saumon atlantique 0+ ; Dens_Salmo1 = Densité de salmonidés 1+ an ; Bio = Biomasse pêchée (g/100 m²). Les densités sont calculées en ind/100 m² d'habitat favorable).

Mod.	Int. β_0	%PC+Rad +Rap	Rip	DJ	DensTRF0	DensSAT0	DensSalmo1	Biomasse
TRF0	3,797	$-4,45^{e-3}$	X	$3,14^{e-4}$	$-2,679^{e-4}$	$-1,311^{e-2}$	$-9,756^{e-3}$	$2,34^{e-4}$
TRF1	5,150	$-2,64^{e-3}$	$-8,447^{e-4}$	X	$-2,03^{e-2}$	$1,069^{e-2}$	$-3,545^{e-3}$	$1,45^{e-4}$
SAT0	2.197	-1.22^{e-3}	X	$6,40^{e-4}$	$4,33^{e-2}$	$2,333^{e-3}$	X	$2,62^{e-4}$

3.5.1. Croissance de la truite commune (*S. trutta*) à l'âge 0+ an

Le jeu de données concernant la truite commune 0+ comporte 409 individus répartis sur 17 secteurs.

Au total, 9 modèles a priori ont été élaborés afin d'expliquer la variation de la longueur à la fourche des individus 0+ an de truite commune. La table de comparaison des AICc sur laquelle nous nous sommes basés pour sélectionner le modèle le plus parcimonieux est présentée en annexe 3. Le modèle a priori avec l'AICc le plus faible est :

Longueur à la fourche TRF0 (log) ~ %PC+Rad+Rap + DJ0 + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse + (1 + Secteur).

La variance expliquée par ce modèle n'est cependant que de 32,93% (Xu, 2003). Les coefficients du modèle sont présentés dans le tableau 6.
Dans le modèle sélectionné, toutes les variables de densité, à savoir la densité de truite 0+ an, la densité de saumons 0+ an et la densité de salmonidés 1+ an ont un effet négatif sur la taille des truites d'âge 0+. Ceci souligne le caractère densité-dépendant de la croissance. Toutefois, les densités de saumons 0+ et de salmonidés 1+ ont un effet relativement plus important que la densité de truites 0+. Le pourcentage de faciès lotiques a également une influence négative (mais peu importante) sur la taille des truitelles 0+. Enfin, la somme des degrés-jours et la biomasse pêchée ont un faible effet positif sur la taille des truites communes d'âge 0+. La présence de ripisylve n'a aucun effet sur la croissance des truites 0+.

3.5.2. Croissance de la truite commune (*S. trutta*) à l'âge 1+ an

Pour la truite commune 1+, le jeu de données est constitué de 392 individus répartis sur 14 secteurs.

Au total, 13 modèles a priori ont été générés afin d'expliquer la variation de la longueur à la fourche des individus 1+ de truite commune. La table de comparaison des AICc sur laquelle nous nous sommes basés pour sélectionner le modèle le plus parcimonieux figure en annexe 3. Le meilleur modèle est :

Longueur à la fourche TRF1 (log) ~ %PC+Rad+Rap + Rip + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse + (1 + Secteur).

La variance expliquée par ce modèle est de 33,75% (Xu, 2003). Les coefficients du modèle sont présentés dans le tableau 6.
Pour les truites d'âge 1+, les estimateurs indiquent que les densités de truites 0+ et les densités de saumons 0+ sont les facteurs influençant le plus la taille. Cependant la densité de truites 0+ présente un effet négatif tandis que la densité de saumons 0+ a un effet positif.

La densité de salmonidés 1+ a, elle aussi une influence négative sur la taille des truites d'âge 1+ mais relativement moins importante. Le pourcentage de faciès lotiques et la ripisylve ont un effet négatif moindre, tandis que la biomasse a une influence positive sur la taille des truites d'âge 1+. La température semble ne pas influer sur la croissance avec ce jeu de données

3.5.3. Croissance du saumon atlantique (*S. salar*) à l'âge 0+ an

Pour le saumon atlantique 0+, le jeu de données comporte 753 individus répartis sur 11 secteurs.

Au total, 8 modèles a priori ont été testés afin d'expliquer la variation de la longueur à la fourche des individus 0+ de saumon atlantique. La table de comparaison des AICc sur laquelle nous nous sommes basés pour sélectionner le modèle le plus parcimonieux est présentée en annexe 3. Le modèle retenu est le suivant :

(2) Longueur à la fourche SAT0 (log) ~ %PC+Rad+Rap + DJ0 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0 + Biomasse + (1 + Secteur).

La variance expliquée par ce modèle est de 45,61% (Xu, 2003) et ses coefficients sont renseignés dans le tableau 6.
Dans ce modèle, les densités de truites et de saumons 0+ sont les facteurs qui influencent le plus la taille des saumons atlantiques d'âge 0+. En revanche, ces deux variables ont un effet positif, contrairement à ce que l'on peut lire dans la littérature scientifique. Le pourcentage de faciès lotiques influence négativement la taille des tacons 0+ dans une moindre mesure. Enfin, la somme des degrés-jours et la biomasse présentent un faible effet positif sur la taille des saumons atlantiques d'âge 0+.

4. Discussion - conclusion

4.1. Les limites méthodologiques de l'étude

Ce travail sur l'hétérogénéité spatiale de la croissance des juvéniles 0+ et 1+ an de la truite commune et du saumon atlantique et sur e rôle des principaux facteurs abiotiques et biotiques influençant cette croissance sur le bassin versant du Léguer comporte certaines limites méthodologiques.

4.1.1. Choix et nombre des secteurs d'inventaires piscicoles

La comparaison des résultats concernant l'hétérogénéité spatiale de la croissance de la truite par l'approche dite « scalimétrique » (Salmon, 2017 ; Dadure, 2019) et par l'approche dite « populationnelle » (ce travail) montre qu'il n'y a pas toujours de correspondance dans les résultats. Certains secteurs d'inventaire de moins de 100 m de long (notamment le secteur de Pont Lorbellec sur le Guer aval où la croissance des salmonidés 0+ et 1+ est parmi les plus faibles du bassin

versant) ne semblent pas représentatifs de la zone d'étude de plusieurs km dans laquelle ils se situent du point de vue des conditions environnementales. L'idéal serait d'avoir un plus grand nombre de secteurs d'inventaires dont plusieurs pour chaque grande zone du bassin versant définie par Salmon (2017). La lourdeur du protocole n'a pas permis d'avoir plus de 17 secteurs d'inventaire piscicole, cependant répartis sur tout le réseau hydrographique. Dans l'approche scalimétrique, les individus capturés proviennent d'une grande zone pouvant présenter une certaine variabilité environnementale.

Le stade de vie juvénile 0+ des espèces territoriales comme les salmonidés se déroule dans un espace plus ou moins restreint (Ombredane et al., 1998 ; Cucherousset et al., 2005 ; Cucherousset et al., 2006) où les conditions environnementales peuvent être particulières. Par ailleurs, les juvéniles de salmonidés plus âgés (1+ an et adultes pour les truites résidentes) migrent à l'intérieur d'un cours d'eau (Baglinière et Maisse, 2002). Notamment, les individus 1+ ne sont pas toujours trouvés sur leur lieu de naissance, mais peuvent provenir de zones plus amont (Baglinière et al, 1989 ; Baglinière et Maisse, 1991 ; Cucherousset et al., 2005). Il devient alors difficile de mettre en relation des caractéristiques environnementales très locales avec la croissance des individus.

4.1.2. Quantification des faciès d'écoulements des secteurs d'inventaire

Concernant les variables abiotiques, bien que les habitats aient été décrits selon un même protocole, la multiplicité des opérateurs à l'origine de ces descriptions a pu avoir un impact sur les données récoltées. En effet dans certains secteurs d'inventaire piscicole, les faciès de type rapide semblent sur-représentés. C'est notamment le cas sur le secteur de Kerbiquet sur le Saint-Ethurien qui présente 26,38% de rapides tandis que 12 des 17 secteurs ne comportent pas de faciès de ce type et que les 4 autres secteurs n'en présentent qu'entre 7,20% et 12,02%. C'est en partie pour cette raison que les trois faciès lotiques (radiers, rapides et plats courants) ont été regroupés dans une même variable explicative « %PC+Rad+Rap ».
De plus, bien que les descriptions aient été faites en période d'étiage, les dates auxquelles les caractérisations ont été effectuées ont également pu jouer un rôle (notamment en raison de la variation de la hauteur d'eau) sur l'appréciation des différents types de faciès par les opérateurs. Des radiers peuvent être qualifiés de plats courants lorsque la hauteur d'eau et le débit sont un peu plus élevés. C'est aussi une des raisons qui ont amené le regroupement dans une même variable des pourcentages de recouvrement des 3 faciès lotiques.
L'évaluation de la surface d'habitat favorable aux salmonidés sur chaque secteur d'inventaire est basée sur l'estimation quantitative des pourcentages des différents faciès d'écoulement (au nombre de 5 dans ce protocole d'étude). Il serait utile d'estimer le biais occasionné par des erreurs d'estimation visuelle de ces faciès.

4.2. Quelques apports méthodologiques

4.2.1. Estimation des surfaces d'habitat favorable aux juvéniles de salmonidés

Les variables biotiques explicatives de densités, testées dans ce travail sont toutes basées sur la même formule de calcul évaluant la surface d'habitat favorable aux juvéniles de salmonidés. Cette formule, certes le fruit d'une certaine expertise et s'appuyant pour partie sur la littérature (Prévost & Porcher, 1996) n'a pas été validée. Le développement de formules de calcul alternatives validées

par des données de terrain serait pertinent vu l'importance qui revêtent les variables de densités dans les modèles de croissance.
Le programme de suivi des populations de salmonidés et de truite commune qui a débuté en 2022 sur le bassin de Léguer et pour lequel sur chacun des 6 secteurs d'inventaires retenus, un radier est individualisé lors de la pêche à l'électricité devrait constituer un jeu de données qui permettra d'affiner l'approche mise en œuvre dans cette étude. Il est en effet toujours difficile de comparer des densités de stades de salmonidés quand les secteurs ne sont pas composés de la même proportion de chaque faciès d'écoulement.
L'« Indice abondance Saumon » (IAS) permet des comparaisons entre secteur des abondances de juvéniles 0+ an de saumon puisqu'il s'agit d'une pêche de 5 mn sur les habitats favorables pour ce stade de l'espèce (Prévost et Nihouarn 1999). Par contre, l'indice d'abondance truite (IAT) du protocole Vigitruite, correspondant aussi à une pêche limitée à 5 mn mais sans a priori sur les préférences d'habitat de l'espèce (Roussel et al., 2004 ; Roussel et al., 2022). Cet indice permet une estimation de l'abondance des juvéniles 0+ et 1+ de la truite, mais il ne permet pas la comparaison de « productivité » de juvéniles entre secteurs. Il est possible de suivre l'évolution d'un secteur, de relier l'indice à une densité, mais comme il est réalisé sur des secteurs de composition différente en faciès, la comparaison inter secteur en termes de productivité est plus hasardeuse.
La méthode proposée dans ce travail trouverait donc toute sa place, si elle est validée, comme une des méthodes d'interprétation des résultats d'inventaires piscicoles sur des secteurs multi faciès.

4.2.2. Estimation de l'ombrage d'un secteur et ripisylve

L'ombrage des cours d'eau procuré par une ripisylve arborée est une variable qui influence la répartition des salmonidés (Haury et al., 1991). Il peut notamment limiter l'échauffement excessif des eaux en été dans les petits cours d'eau (Rutherford et al., 2004 ; Dugdale et al., 2018) et ainsi influencer la croissance des poissons. Une des difficultés est d'estimer « quantitativement » cet ombrage. Très souvent, il s'agit d'une appréciation visuelle. Dans cette étude le protocole de l'annexe 1 a été utilisé avec une notation de 0 (ombrage nul) à 3 (>60% de la surface à l'ombre) (Berceau, 2022). La ripisylve a aussi été quantifiée, du fait de son rôle important sur le peuplement piscicole dont l'ombrage, mais aussi la création de micro-habitats en berge. De plus, la ripisylve arborée augmente la disponibilité en nourriture pour les poissons (Albertson et al., 2018).
Les matrices de corrélation ont mis en évidence une très bonne corrélation (coefficient de corrélation de 0,85) entre la note d'ombrage moyenne sur le secteur et la variable Rip, correspondant au pourcentage de berges (droite et gauche cumulées) présentant une ripisylve arborée. Cette variable Rip, moins sujette à des variations d'appréciation liées à l'opérateur, pourrait être utilisée pour apprécier l'ombrage d'un secteur.

4.2.3. Régime thermique du Léguer

De nombreuses variables potentiellement explicatives de la croissance relatives à la température ont été testées dans ce travail du fait qu'il y avait un enregistreur de température sur chaque secteur d'inventaire. De nombreuses corrélations significatives entre ces variables de température ont été mises en évidence : corrélations inter saisonnières (température moyenne du printemps et de l'été), corrélations intra saisonnières (les températures estivales les plus élevées en été sont sur les mêmes secteurs chaque année). Toutes ces corrélations demanderaient à être confirmées avec un

jeu de données sur une plus longue période et avec un plus grand nombre de points de mesure. Ce travail et plus largement l'analyse du régime thermique du Léguer sont réalisables du fait que 30 thermographes sont en place sur le Léguer depuis 2016 pour certains d'entre eux.

4.3. Croissance comparée des deux espèces

A l'âge 0+ an, il n'y a pas de différence de croissance linéaire à l'automne entre le saumon et la truite. Les températures rencontrées pendant les périodes de forte croissance (printemps et été) sont dans une gamme favorable aux deux espèces.
Par contre, la longueur à la fourche moyenne des **individus 1+** des saumons est significativement plus faible que celle des truites. En effet, les saumons 1+, présents lors des inventaires piscicoles automnaux sont des individus qui n'avaient pas atteint au printemps précédent une taille suffisante pour smoltifier et migrer jusqu'en mer. Au cours de ce processus de smoltification, les jeunes saumons connaissent des modifications morphologiques, comportementales et physiologiques nécessaires à leur future vie en mer (Porcher & Baglinière, 2011). De nombreuses études ont montré que la taille atteinte à l'issue de la première année de croissance influençait fortement la smoltification. Les juvéniles avec les longueurs à la fourche les plus importantes ont ainsi une plus grande probabilité de smoltifier après leur première année passée en eau douce (Nicieza et al., 1994 ; Utrilla & Lobon-Cervia, 1999). Dans leur étude, Baglinière & Maisse (1985) ont montré qu'en Bretagne les juvéniles de saumon atlantique sont en mesure de smoltifier dès la première année. Ainsi la différence de croissance à 1+ an entre les deux espèces, observée dans cette étude, pourrait s'expliquer par le fait que les plus gros individus de saumon atlantique aient migré en mer après leur première année de croissance ne laissant en cours d'eau pour cette cohorte alors que les plus petits individus.
On constate dans les résultats de cette étude, que les seuls juvéniles de saumon 2+ ont été inventoriés sur les secteurs où la température de l'eau est la plus fraiche au printemps et en été (Guer aval à Pont Lorbellec, Lan scalon aval et Milin ar Prat) et où donc la croissance est la plus faible. En effet, la dévalaison et la smoltification de cette espèce au stade juvénile étant lié à la croissance, plus cette dernière est importante, en relation avec des températures plus élevées, plus l'âge de smoltification est faible (Perrier, 2006). En France les juvéniles dévalent au printemps majoritairement à 1 et 2 ans (Porcher et Baglinière, 2011). Parmi les corrélations entre variables explicatives, il serait intéressant d'analyser les relations entre les densités automnales de saumon 1+ et 2+ ans (SAT > 1+) et les températures de l'eau et notamment les somme de degré-jours de l'éclosion à la capture. Il n'y a pas assez de données dans ce qui était disponible pour cette étude pour réaliser de telles analyses.

4.4. Hétérogénéité spatiale de la croissance dans le Léguer

Nous avons pu mettre en évidence une variabilité de la croissance entre les 17 secteurs d'inventaire piscicole.
Les secteurs du pont de Lorbellec et du Milin ar Prat présentent une faible croissance quel que soit le groupe d'individus (saumons 0+ an et truites 0+ et 1+ an). Concernant le secteur du Milin ar Prat, cette faible croissance pourrait être liée à la température de l'eau qui est l'une des plus fraîches au printemps et en été (température moyenne printanière de l'année 2018 Tp0= 9,78°C ; température moyenne estivale de l'année 2018 Te0= 14,15°C). C'est aussi plus ou moins le cas du secteur du

pont de Lorbellec qui présente une température de l'eau que l'on peut qualifier de faible à intermédiaire (Tp0 = 10,23 °C et Te0 = 14,67°C). Cependant, un autre secteur présentant des températures faibles, le Guer à Coatgoureden (Te0 = 14,11°C), est caractérisé par une croissance de la truite à 0+ an, parmi les plus élevées. Ainsi, l'influence du secteur sur la croissance inclut potentiellement de nombreux facteurs biotiques et abiotiques soulignant la nécessité d'une approche multifactorielle.

4.5. *L'approche multifactorielle de la modélisation de la croissance*

Pris un par un les facteurs explicatifs de la croissance n'explique pas plus de 15% de la variabilité de la longueur fourche des différentes catégories de salmonidés. L'approche multifactorielle a permis d'augmenter sensiblement ce taux d'explication : 32,93 % pour les truites 0+ an, 33,75% pour les truites 1+ an et même 45,61% pour les juvéniles de saumon 0+.

D'après les différents modèles établis, **la biomasse a un effet positif** sur les tailles quel que soit le groupe d'individus concerné. Même si ce facteur ne semble pas être l'un des plus importants, son influence positive sur la croissance peut s'expliquer par le fait qu'une importante biomasse piscicole rend compte d'une certaine productivité du cours d'eau (Portt et al., 1986 ; Warren et al., 2010).

De même, **la somme des degrés-jours influence positivement** la croissance des juvéniles 0+ des deux espèces, ce qui rejoint les résultats de Baglinière et Maisse (2002) et de Parra et al. (2012). Cependant, aucun paramètre lié à la température ne compose le modèle explicatif de la croissance des TRF 1+ an. Le rôle de la température comme paramètre explicatif de la croissance est, contre toute attente assez faible. Sur la Léguer, et plus particulièrement dans notre jeu de données, ce facteur peut ne pas être très important du fait d'une faible hétérogénéité intra bassin versant. En l'automne et en hiver, il n'y a pas de différences marquées entre les secteurs. En été, les différences sont assez faibles entre l'amont et l'aval du bassin versant. L'été 2017, l'amplitude de la température moyenne estivale n'est que de 2,5°C entre Pont Coat Dunois sur le Leguer et les petits affluents d'amont.

Le pourcentage de faciès lotiques du secteur a un impact négatif non négligeable sur la croissance des juvéniles de truite. Ce n'est pas un facteur d'une importance majeure comparativement aux variables biotiques mettant en avant la densité-dépendance de la croissance mais malgré tout cette variable ressort dans tous les modèles multifactoriels établis. Chez les juvéniles de truite 0+ et 1+ an, les travaux de Roussel et Bardonnet (2002) mettent en évidence que les faciès lotiques sont les habitats d'alimentation des juvéniles alors que les faciès profonds du ruisseau voire les berges ont surtout un rôle d'habitat de repos et refuge. Ces deux grands types de faciès, utilisés alternativement le jour (faciès lotiques) et la nuit (faciès lentiques) sont indispensables pour une bonne survie et un bon développement de la population de truite. Le manque d'habitat de repos sur un secteur engendrerait des dépenses énergétiques accrues (Roussel et Bardonnet, 2002) et serait donc défavorable à la croissance. Sur de nombreux secteurs d'inventaire en ruisseau, plus de 80% des faciès (voire 100% sur le St Emilion, le St Ethurien et le Kerlouzouern aval) sont de type lotique.

La présence de **ripisylve (variable Rip) n'a qu'une faible influence négative** sur la croissance des seuls juvéniles 1+ de truite. Si la ripisylve peut être source de nourriture pour les poissons (Albertson et al., 2018), un ombrage excessif peut limiter la production in situ de macrophytes et d'invertébrés. Murphy et Meehan (1991) montrent que l'éclaircissement du cours d'eau provoque une augmentation provisoire en été de la production piscicole liée à l'abondance du benthos.
Dans l'approche « scalimétrique » Salmon (2017) montre que le pourcentage de berge avec de la ripisylve arborée sur une seule berge (Rip1) a un impact positif sur la croissance de la truite 1+ an mais pas de ripisylve ou de la ripisylve sur les deux berges ont un impact négatif. Il faudrait aller plus avant sur le rôle de la ripisylve sur la croissance des juvéniles de salmonidés car les résultats pourraient aider pour la gestion des cours d'eau en matière d'entretien des berges.

La croissance densité-dépendante est largement mise en avant dans les modèles établis :

- Concernant les **truites communes d'âge 0+,** nous avons pu mettre en évidence un effet négatif relativement important des densités de saumon atlantique 0+ sur les tailles pouvant traduire un phénomène de compétition inter-spécifique qui est très bien documenté dans la littérature (Haury et al., 1991 ; Crisp, 2000 ; Jonsson & Jonsson, 2011). L'influence négative de la densité de salmonidés 1+ sur la taille des truitelles 0+ peut également traduire un phénomène de compétition. En effet, même si les truites juvéniles et adultes ne fréquentent pas exactement les mêmes types d'habitats, les préférendums des groupes 0+ et 1+ ne sont pas si différents (Haury et al., 1991). Enfin, mais dans une moindre mesure, la croissance des truites 0+ an est influencée négativement par leur densité.
- On observe d'ailleurs chez **les truites d'âge 1+** un effet négatif de la densité de truites 0+ mais aussi de la densité en salmonidés 1+ an sur la taille. En revanche, la relation positive entre la taille des truites 1+ et la densité des saumons 0+ est difficile à expliquer. Toutefois, lorsque nous nous intéressons de près aux données, on remarque que les plus grosses truites 1+ se trouvent dans les parties aval du bassin versant, là où les juvéniles de saumons sont très abondants. Dans le but de valider ou non la nature de cet effet, il faudrait pouvoir comparer davantage de secteurs en aval du bassin versant comportant des densités de tacons variables.
- Concernant **les saumons d'âge 0+,** sont observées des relations positives entre leur taille et la densité de truites 0+ ainsi qu'entre la taille et la densité de saumon 0+, elles aussi difficiles à justifier et allant à l'encontre de la littérature. Toutefois, les modèles concernant le saumon atlantique d'âge 0+ se basent sur seulement 11 secteurs d'inventaire dont 6 avec un effectif de ce groupe d'âge inférieur ou égal à 5 individus.

Globalement, les modèles multifactoriels permettent d'expliquer une plus grande part de la variabilité de la croissance des juvéniles des salmonidés comparativement à une approche avec seulement un facteur. Néanmoins, la part de la variabilité de la croissance expliquée reste inférieure à 50%. Certains facteurs explicatifs de la croissance n'ont pu être pris en compte car non disponibles à cette échelle d'étude. C'est le cas notamment de certains paramètres physico-chimiques de l'eau comme la trophie des eaux, mise en avant par Salmon (2017). Notamment, il a montré que la teneur en DBO5 (Demande biologique en oxygène 5 jours) avait un impact positif sur la croissance les truites 1+ an et plus âgées. Ce facteur qui traduit la concentration en matière organique biodégradable contenue dans l'eau, peut ne pas être considéré comme un critère de pollution mais comme un

critère de trophie des eaux si sa valeur n'est pas excessive et si l'oxygène dissous n'est pas déficitaire, comme c'est le cas sur le Léguer

4.6. *Conclusion et impact sur gestion*

Si les modèles multifactoriels expliquent une plus grande part de la variabilité de la croissance des juvéniles de salmonidés 0+ et 1+ an que les facteurs pris un par un, il reste encore une grande part non expliquée. Il faudrait confirmer ces résultats avec un plus grand nombre de secteur inventoriés pour pouvoir prendre en compte un plus grand nombre de facteurs explicatifs mais aussi limiter le poids de secteurs particuliers. Les résultats obtenus dans ce travail ont besoin d'être confirmés et l'approche proposée dans ce travail demande à être poursuivie.
Le facteur température semble avoir un rôle assez faible sur la croissance sur le Léguer alors que les densités de salmonidés sont des facteurs importants. La compétition inter et intra spécifique de même que la compétition inter groupe d'âge ont un effet négatif sur la croissance. Peut-être faudrait-il laisser des zones du bassin versant inaccessibles au saumon pour limiter la compétition inter spécifique chez les juvéniles 0+ et favoriser la croissance, voire la densité des truitelles 0+.

L'effet négatif sur la croissance d'une ripisylve arborée trop importante incite à faire une gestion adaptée de cette ripisylve dans les petits cours d'eau : Ne pas en laisser trop sans toutefois la supprimer totalement. Enfin, une trop grande homogénéité des habitats aquatiques, dominée par des faciès lotiques, semble défavorable à la croissance des juvéniles tant de la truite que du saumon. Maintenir la présence de faciès lents voire profonds (fonction de repos et d'abri) pourrait améliorer les conditions de vie des jeunes stades de salmonidés. Aussi, ne pas pratiquer de « nettoyage » drastique des rivières et y laisser quelques embâcles végétaux (sauf bien entendu ceux qui présentent des dangers pour l'aval du cours d'eau) favorisant la diversité des faciès d'écoulement peut être une solution.

Enfin, les résultats de ce travail ont permis de proposer un protocole et un plan d'échantillonnage pour le suivi des populations dans le cadre du label « Rivière sauvage ». Les protocoles « Indice Abondance Saumon » et Vigitruite ne semblent pas appropriés pour les buts poursuivis. Des inventaires piscicoles classiques (avec 2 passages) en distinguant si possible un faciès lotique de type radier lors des pêches peuvent répondre à de nombreux objectifs dont le suivi d'autres espèces amphihalines comme l'anguille (*A. anguilla*). Quant au nombre de secteurs et leur localisation, il faut tenir compte de certaines contraintes comme l'accessibilité mais surtout le coût financier. Cela « interdit » donc les secteurs trop larges sur le Léguer (besoin de trop de personnel) et le nombre d'opérations : 6 secteurs, une fois par an. En se basant sur les résultats de ce travail et sur la présence ou non d'un thermographe, la localisation des 6 secteurs retenus visent à couvrir la plus grande variabilité possible de situations : secteurs avec et sans juvéniles de saumon, températures estivales de l'eau « élevées » et « faibles », affluents près et loin de la mer, secteurs avec ou sans hétérogénéité de faciès d'écoulement, …. Ainsi ont été retenus : Le Guic aval à Loc Envel, le Guer aval au niveau de la Station de pompage de Belle Isle en terre (nouveau secteur ne faisant pas partie de cette étude), le Kerlouzouen amont à Keraël, le Frout au Moulin du Frout, le Dour Traou Breuder à Kernavanet et le Lan Scalon amont à Milin ar Lan.

Références bibliographiques

Alanärä A., Burns M.D., Metcalfe N.B. (2001). Intraspecific resource partitioning in brown trout: the temporal distribution of foraging is determined by social rank. *Journal of Animal Ecology*, **70**, 980-986.

Albertson L.K., Ouellet V., Daniels M.D. (2018) Impacts of stream riparian buffer land use on water temperature and food availability for fish, *Journal of Freshwater Ecology*, **33:1**, 195-210.

Armstrong J.D., Kemp P.S., Kennedy G.J.A., Ladle M., Milner N.J. (2003). Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries Research*, **62**, 143-170.

Association du Réseau des « Sites Rivières Sauvages ». (2019). Gérer & développer le réseau des sites labellisés en France et en Europe. Programme Rivières Sauvages, 4 pages.

Baglinière J.L., Maisse G. (1985). Precocious maturation and smoltification in wild Atlantic salmon in the Armorican massif, France. *Aquaculture*, **45**, 249-263.

Baglinière J.L., Maisse G., Lebail P.Y., Nihouarn A. (1989). Population dynamics of brown trout, *Salmo trutta* L., in a tributary in Brittany (France) : spawning and juveniles. *J. Fish Biol*., **34**, 97-110.

Baglinière J.L., Maisse G. (1990). La croissance de la truite commune (*Salmo trutta L.*) sur le bassin de Scorff. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **318**, 89-101.

Baglinière J.L., Maisse G. (1991). La truite biologie et écologie. INRA, 303 pages

Baglinière J.L., Porcher J.P. (1994). Caractéristiques des stocks de reproducteurs et comportement lors de la migration génésique. 101-122 dans : Gueguen J.C., Prouzet P. (2004). Le saumon atlantique : Biologie et gestion de la ressource. IFREMER, 330 pages.

Baglinière J.L., Maisse G. (2002). La biologie de la truite commune (*Salmo trutta L.*) dans la rivière Scorff, Bretagne : une synthèse des études de 1972 à 1997. INRA Prod. Anim., **15**, 319-331.

Bal G., Rivot E., Prévost E., Piou C., Baglinière J.L. (2011). Effect of water temperature and density of juvenile salmonids on growth of young-of-the-year Atlantic salmon *Salmo salar*. *Journal of Fish Biology*, **78(4**), 1002-1022.

Bardonnet A., Baglinière J.L. (2000). Freshwater habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **57**, 497-506.

Baum D., Laughton R., Armstrong J.D., Metcalfe N.B. (2005). The effect of temperature on growth and early maturation in a wild population of Atlantic salmon parr. *Journal of Fish Biology*, **67**, 1370-1380.

Beaudou D., Cuinat R. (1990). Relation entre croissance de la truite commune *Salmo trutta fario* L. et caractéristiques du milieu dans les rivières du massif central. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **318**, 82-88.

Belliard J., Roset N. (2006). L'indice poissons rivière (IPR). Notice de présentation et d'utilisation, ONEMA, Paris, France, 20 pages.

BERCEAU (2022). Tâche 3 Mesurer l'état d'un écosystème en évaluant son « bon » fonctionnement, Rapport du Projet BERCEAU « Bilan, suivi et Évaluation des actions de Restauration des Cours d'EAU bretons », CRESEB Ed., Rennes, 116p.
disponible sur https://www.creseb.fr/voy_content/uploads/2022/06/Berceau_rapport-Tach3-2022.pdf (consulté le 15/06/2023)

Brett J.R. (1979). Environmental Factors and growth. 599-667. in Hoar W.S., Randall D.J., Brett J.R. (1979). Fish Physiology - Bioenergectics and Growth. Academic Press, 786 pages.

Budy P., Thiede G.P., Lobon-Cervia J., Fernandez G.G., McHugh P., McIntosh A., Vollestad L.A., Becares E., Jellyman P. (2013). Limitation and facilitation of one of the world's most invasive fish: an intercontinental comparison. *Ecology*, **94**, 356-367.

Carle F.L., Strub M.R. (1978). A new method for estimating population size from removal data. *Biometrics*, **34**, 621-630.

Carlson A.K., French W.E., Vondracek B., Ferrington Jr L.C., Mazack J.E., Cochran-Biederman J.L. (2016). Brown trout growth in Minnesota streams as related to landscape and local factors. *Journal of Freshwater Ecology*, **31**(3), 421-429.

Champigneulle A. (1978) Caractéristiques de l'habitat piscicole et de la population de juvéniles sauvages de saumon atlantique (Salmo salar L.) sur le cours principal du Scorff (Morbihan). Thèse, Université de Rennes 1, France.

Collectif. (2017). CarHyCE CARactérisation HYdromorphologique des Cours d'Eau - Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied. Edition Agence Française pour la Biodiversité, Collection Guides et protocoles, 36 pages.

Crisp D.T. (1993). Population densities of juvenile trout (*Salmo trutta*) in five upland streams and their effects upon growth, survival and dispersal. *Journal of Applied Ecology*, **30**, 759-771.

Crisp D.T. (2000). Trout and Salmon: Ecology, Conservation and Rehabilitation. Blackwell Science, 212 pages.

Cucherousset J., Ombredane D., Charles K., Marchand F., BaglinièreJ.-L. (2005). A continuum of life history tactics in a brown trout population. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **62**, 1600-1610.

Cucherousset J., Ombredane D., Baglinière J.L. (2006). Linking juvenile growth and migration behaviour of brown trout (*Salmo trutta*) using individual PIT–tagging. *Cah. Biol. Mar.,* **47**, 73-78.

Dadure R. (2019). Variabilité spatiale de la croissance de la truite (*Salmo trutta*) sur le Léguer par une approche scalimétrique. Rapport de stage M1, Université de Rennes 1, France, 19 pages

Dieterman D.J., Hoxmeier R.J.H., Staples, D.F. (2012). Factors influencing growth of individual brown trout in three streams of the upper Midwestern United States. *Ecology of Freshwater Fish*, **21**, 483-493.

Dieterman D.J., Thorn W.C., Anderson C.S. (2004). Application of a bioenergetics model for brown trout to evaluate growth in southeast Minnesota streams. Minnesota Department of Natural Resources, Section of Fisheries. Investigational Report, 27 pages.

Dugdale S.J., Malcolm I.A., Kantola K., Hannah D.M. (2018). Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes, *Science of The Total Environment*, **610–611**, 1375-1389

Elliott J.M. (1975a). The growth rate of brown trout, *Salmo trutta L*. fed on maximum rations. *Journal of Animal Ecology*, **44**, 805-821.

Elliott J.M. (1975b). The growth rate of brown trout, *Salmo trutta L*. fed on reduced rations. *Journal of Animal Ecology*, **44**, 823-842.

Elliot J.M. (1991). Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, Salmo salar. Freshwater Biology, **25**, 61-70

Elliott J. M. (1994). Quantitative Ecology and the Brown Trout. Oxford Series in Ecology and Evolution.Oxford: Oxford University Press, 286 pages

Elliott J.M., Elliott J.A. (2010). Temperature requirements of Atlantic salmon Salmo salar, brown trout Salmo trutta and Arctic charr Salvelinus alpinus: predicting the effects of climate change. *Journal of Fish Biology*, **77**, 1793-1817.

Elliott J.M., Hurley M.A. (1997). A functional model for maximum growth of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in north-west England. *Functional Ecology*, **11**, 592-603.

Elliott J.M., Hurley M.A., Fryer R.J. (1995). A New, Improved Growth Model for Brown Trout, *Salmo trutta*. *Functional Ecology*, **9**, 290-298.

Elliott J.M., John M. (1994). Quantitative ecology and the brown trout. Oxford University Press, 286 pages.

FDAAPPMA27. (2015). Etude de la croissance de *Salmo trutta fario*, première approche départementale. 42 pages.

Forget G., Baglinière J.L., Marchand F., Richard A., Nevoux, M. (2018). A new method to estimate habitat potential for Atlantic salmon (*Salmo salar*): predicting the influence of dam removal on the Sélune River (France) as a case study. *ICES Journal of Marine Science*, **75**, 2172-2181.

Forseth T., Jonsson B. (1994). The growth and food ration of piscivorous brown trout (*Salmo trutta*). *Functional Ecology*, **8**, 171-177.

Forseth T., Larsson S., Jensen A.J., Jonsson B., Näslund I., Berglund I. (2009). Thermal growth performance of juvenile brown trout *Salmo trutta*: no support for thermal adaptation hypotheses. *Journal of Fish Biology*, **74**, 133-149.

Fragnoud E. (1987). Préférences d'habitat de la truite fario (Salmo trutta fario L., 1758) en rivière : quelques cours d'eau du Sud-Est de la France. Thèse, Université Claude Bernard Lyon 1, France.

Frost W.E. (1950). The Growth and Food of Young Salmon (*Salmo salar*) and Trout (*S. Trutta*) in the River Forss, Caithness. *Journal of Animal Ecology*, **19**, 147-158.

Frost, W.E.,Brown M.E. (1967). The trout. Collins, 286 pages.

Garnier T. (2020). La croissance de la truite commune (*Salmo trutta*) et du saumon atlantique (*Salmo salar*) sur le bassin versant du Léguer, Rapport de stage M2 Biodiversité, Ecologie et Evolution de l'Unversité Aix-Marseille, France , 39 pages

Garside E.T. (1973). Ultimate upper lethal temperature of Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Canadian Journal of Zoology*, **51**, 898-900.

Gerdeaux D. (1987). Revue des méthodes d'estimation de l'effectif d'une population par pêches successives avec retrait. Programme d'estimation d'effectif par la méthode de Carle et Sturb. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **304**, 13-21.

Germis G., Le Gurun L., Rigalleau P. (2017). Description du protocole de cartographie des habitats en juvéniles de saumon Atlantique et estimation du potentiel de production sur les cours d'eau du massif Armoricain. Bretagne Grands Migrateurs, Rennes, France, 15 pages.

Gibson R.J. (1993). The Atlantic salmon in fresh-water – spawning, rearing and production. *Fish Biology and Fisheries*, **3**, 39-73.

Grant J.W.A., Imre I. (2005). Patterns of density-dependent growth in juvenile stream-dwelling salmonids. *Journal of Fish Biology*, **67**, 100-110.

Haury J., Ombredane D., Baglinière J.L. (1991). L'habitat de la truite commune (Salmo trutta L.) en cours d'eau. 47-96 in Baglinière J.L., Maisse G. (1991) La truite - Biologie et Ecologie. INRA, 303 pages.

Heggenes J., Bagliniere J.L., Cunjak R.A. (1999). Spatial niche variability for young Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*S. trutta*) in heterogeneous streams. *Ecology of Freshwater Fish*, **8**(1), 1-21.

Höjesjö J., Johnsson J., Bohlin T. (2004). Habitat complexity reduces the growth of aggressive and dominant brown trout (*Salmo trutta*) relative to subordinates. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **56**, 286-289.

Hubert P., 1998. Eaupuscule : Une introduction à la gestion de l'eau, 2ième Edition, *HGA*, Bucureşt, Romanie, 223 pages.

Imre I., Grant J.W.A., Cunjak R.A. (2005). Density-dependent growth of young-of-the-year Atlantic salmon *Salmo salar* in Catamaran Brook, New Brunswick. *Journal of Animal Ecology*, **74**, 508-516.

Jenkins T.M., Diehl S., Kratz K.W., Cooper S.D. (1999). Effects of population density on individual growth of brown trout in streams. *Ecology*, **80**, 941-956.

Jensen A.J. (2003). Atlantic salmon (*Salmo salar*) in the regulated River Alta: effects of altered water temperature on parr growth. *River Research and Applications*, **19**, 733-747.

Jonsson B., Jonsson N. (2011). Ecology of Atlantic salmon and brown trout. Habitat as a template for life histories. Springer Netherlands, 708 pages.

Jonsson N., Jonsson B., Hansen L.P. (2005). Does climate during embryonic development influence parr growth and age of seaward migration in Atlantic salmon (*Salmo salar*)? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **62**, 2502-2508.

Kallerberg H. (1958). Observations in a stream tank of territoriality and competition in juvenile salmon and trout (*Salmo salar* L and Salmo trutta L.). *Report of the Institute of Freshwater Reearch. Drottningholm*, **39**, 55–98.

Karlström Ö. (1977). Habitat selection and population densities of salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) parr in Swedish rivers with some reference to human activities. Thèse, Uppsala Faculty of Science, Sweden, 3-12.

Kaspersson R., Höjesjö J. (2009). Density-dependent growth rate in an age-structured population: a field study on stream-dwelling brown trout Salmo trutta. *Journal of Fish Biology*, **74**, 2196-2215.

Lagarrigue T. (2000). Croissance de la truite commune (*Salmo trutta* L.) dans les Pyrénées françaises. Analyse régionale et locale des principaux facteurs de variabilité en rivière de montagne. Thèse, Toulouse INP-ENSAT, France.

Lagarrigue T., Baran P., Lascaux J., Belaud A. (2001a). Analyse de la variabilité de la croissance d'une population de truite commune (*Salmo trutta* L.) dans un torrent pyrénéen. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, **357/360**, 573-594.

Lagarrigue T., Baran P., Lascaux J.M., Delacoste M., Abad N., Lim P. (2001b). Taille à 3 ans de la truite commune (*Salmo trutta* L.) dans les rivières des Pyrénées françaises : Relation avec les caractéristiques mésologiques et influence des aménagements hydroélectriques. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, **357/360**, 549-71.

Lobón-Cerviá J. (2005). Spatial and temporal variation in the influence of density dependence on growth of stream-living brown trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **62**, 1231-1242.

Lobón-Cerviá J. (2007). Density-dependent growth in stream-living Brown Trout Salmo trutta L. *Functional Ecology*, **21**, 117-124.

Lobón-Cerviá J. (2010). Density dependence constrains mean growth rate while enhancing individual size variation in stream salmonids. *Oecologia*, **164**, 109-115.

Logez M., Pont D. (2011). Variation of brown trout Salmo trutta young-of-the-year growth along environmental gradients in Europe. *Journal of Fish Biology*, **78**, 1269-1276.

Malavoi J.R., Souchon Y. (2002). Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, **365/366**, 357-372.

Mills D. (1971). Salmon and trout: a ressource, its ecology, conservation and management. St. Martin's press, 351 pages.

Murphy, M. L., Meehan W. R. (1991) Stream ecosystems. Am. Fish. Soc. Spec. **Publ. 19**. 17–46.

Newman R.M. (1993). A conceptual model for examining density dependence in the growth of stream trout. *Ecology of Freshwater Fish*, **2**, 121-131.

Nicieza A.G., Reyesgavilan F.G., Brana F. (1994). Differentiation in juvenile growth and bimodality patterns between northern and southern-populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Canadian Journal of Zoology*, **72**, 1603-1610.

Nicola G.G., Almodovar A. (2004). Growth pattern of stream-dwelling brown trout under contrasting thermal conditions. *Transactions of the American Fisheries Society*, **133**, 66-78.

Ojanguren A.F., Reyes-Gavilán F., Braña F. (2001). Thermal Sensitivity of Growth, Food Intake and Activity of Juvenile Brown Trout. *Journal of thermal biology*, **26**, 165-170.

Ombredane D., Bagliniere J.L. (1991). Les écailles et leurs utilisations en écologie halieutique. 151-192. *in* Baglinière J.L., Castanet J., Conand F., Meunier F.J. (1992). Tissus durs et âge individuel des vertébrés. ORSTOM - INRA, 460 pages.

Ombredane D., Haury J., Chapon P.M. (1995). Heterogeneity and typology of fish habitat in the main stream of a Breton coastal river (Elorn-Finistère, France). *Hydrobiologia*, **300**, 259-268.

Ombredane D., Baglinière J.L., Marchand F. (1998). The effects of passive integrated transponder tags on survival and growth of juvenile brown trout (*Salmo trutta*) and their use for studing movements in a small river. *Hydrobiologia,* **371/372**, 99-106.

Ombredane D., Baglinière J.L., Berrebi P. (2011). La truite commune. 398-403. in Keith P., Persat H., Feunteun E., Allardi J. (2011). Les poissons d'eau douce de France. Biotope - Muséum national d'histoire naturelle, 552 pages.

Ombredane D., Baglinière J.L., Berrebi P. (2020). La truite commune – *Salmo trutta* (Linnaeus 1758), 498-505 *in* Keith P., Poulet N., Denys G., Changeux T., Feunteun E., Persat H., (coords), Les poissons d'eau douce en France – 2nde édition, Biotope Editions, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelles, Paris (collection Inventaires et biodiversité, 704 pages.

Parra I., Almodóvar A., Nicola G.G., Elvira B. (2009). Latitudinal and altitudinal growth patterns of brown trout *Salmo trutta* at different spatial scales. *Journal of Fish Biology*, **74**, 2355-2373.

Parra I., Almodóvar A., Ayllón D., Nicola G., Elvira B. (2012). Unravelling the effects of water temperature and density dependence on the spatial variation of brown trout (*Salmo trutta*) body size. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **69**, 821-832.

Perrier C. (2006). Modifications de la croissance en eau douce du Saumon atlantique (*Salmo salar*) durant les trente dernières années (1970 à 2005) sur la rivière Scorff : Influence du réchauffement climatique et des activités agricoles. INRAe. 38 pages. ffhal-02921689

Porcher J.P., Baglinière J.L. (2011). Le saumon atlantique. 394-397. *in* Keith P., Persat H., Feunteun E., Allardi J. (2011). Les poissons d'eau douce de France. Biotope - Muséum national d'histoire naturelle, 552 pages.

Portt C., Balon E., Noakes D. (2011). Biomass and Production of Fishes in Natural and Channelized Streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **43**, 1926-1934.

Prévost E., Porcher J.P. (1996). Méthodologie d'élaboration de Totaux Autorisés de Captures (TAC) pour le Saumon atlantique (*Salmo salar* L.) dans le Massif Armoricain. Propositions et recommandations scientifiques. Document scientifique et technique n°1, 26 pages.

Prevost E., Nihouarn A. (1999). Relation entre indicateur d'abondance de type CPUE et estimation de densité par enlèvements successifs pour les juvéniles de Saumon atlantique (*Salmo salar L.*) de l'année. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, **352**, 19-29.

Puffer M., Berg O.K., Huusko A. et al. (2017). Effects of intra- and interspecific competition and hydropeaking on growth of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Ecology of Freshwater Fish*, **26**, 99-107.

Roussel J.M., Bardonnet A., Haury J., Baglinière J.L., Prévost E. (1998). Végétation aquatique et peuplement pisciaire : approche expérimentale de l'enlèvement des macrophytes dans les radiers d'un cours d'eau breton. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **350/351**, 693-709.

Roussel J.M., Bardonnet A. (2002) Habitat de la Truite commune (*Salmo trutta* L.) pendant la période juvénile en ruisseau : Préférences, mouvements, varaitions journalières et saisonnières. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, **365/366** : 435-454

Roussel J-M., Huteau D., Richard A., Gallet O (2004). Mise au point et validation d'une méthode simple pour estimer l'abondance des juvéniles de truite en cours d'eau. Rapport de fin de contrat, convention Inra/DIREN. 19 pages

Roussel J-M., Pottier G., Servanti S., Beaulaton L. (2022). Partie D – Livrets de protocoles de pêche à l'électricité : VIGITRUITE ® , indice d'abondance truite (IAT). La pêche scientifique à l'électricité dans les milieux aquatiques continentaux, Rapport INRAE- OFB, 97-102

Rutherford J.C., Marsh N.A., Davies P.M., Bunn S.E. (2004). Effects of patchy shade on stream water temperature: how quickly do small streams heat and cool?, *Marine and Freshwater Research,* **55(8)**, 737-748

SAGE Baie de Lannion (2013) Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux de la Baie de Lannion. 343 pages.

Salmon Q. (2017). Croissance de la truite (*Salmo trutta*) sur le Léguer par des approches populationnelle et scalimétrique. Rapport de stage M2, Université de Reims Champagne-Ardenne, France, 77 pages

Servanty S., Beaulaton L., Roussel J.M. (2016). VIGITRUITE® : test de la méthode et construction de l'abaque entre la densité et l'indice d'abondance en juvéniles de truite 0+ et 1+. Rapport AFB-Inra Pole Gest'Aqua. 35 pages.

Tiberghein G. (1985). Le Scorff : système de référence florsitique et faunistique de la qualité des eaux courantes. Rapport, INRA, Rennes, France, 176 pages.

Utrilla C.G., Lobon-Cervia J. (1999). Life-history patterns in a southern population of Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*, **55**, 68-83.

Vannote R. L., Minshall G.W., Cummins K.W. (1980). The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **37**, 130-137.

Ward D.M., Nislow K.H., Folt C.L. (2009). Increased population density and suppressed prey biomass: relative impacts on juvenile Atlantic salmon growth. *Transactions of the American Fisheries Society*, **138**, 135-143.

Warren D.R., Mineau M.M., Ward E.J. et al. (2010). Relating fish biomass to habitat and chemistry in headwater streams of the northeastern United States. *Environmental Biology of Fishes*, **88**, 51-62.

Wei T., Wei M.T. (2017). Package 'corrplot'. *Statistician*, **56**, 316-324.

Xu R. (2003). Measuring Explained Variation in Linear Mixed Effects Models. *Statistics in Medicine*, **22/35**, 27-41.

Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A.,Smith G.M. (2009). Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. New York: Springer, 574 pages.

Annexes

Annexe 1 : Description des secteurs d'inventaire piscicole sur le bassin versant du Léguer en 2018 et 2019

Le protocole de description des secteurs d'inventaire piscicole fait l'objet d'une fiche technique rédigée par Dominique Ombredane dans le programme BERCEAU :

BERCEAU (2022). Fiche technique n°9 Caractérisation hydromorphologique des habitats piscicoles 81-86 *in* BERCEAU (2022) Tâche 3 Mesurer l'état d'un écosystème en évaluant son « bon » fonctionnement, Rapport du Projet BERCEAU « Bilan, suivi et Évaluation des actions de Restauration des Cours d'EAU bretons », CRESEB Ed., Rennes, 116pages. disponible sur https://www.creseb.fr/voy_content/uploads/2022/06/Berceau_rapport-Tach3-2022.pdf (consulté le 15/06/2023)

Fiche technique

N°9

Caractérisation hydromorphologique

Caractérisation hydromorphologique des habitats piscicoles

L'estimation précise de la surface prospectée lors d'un inventaire piscicole est indispensable pour appréhender la densité des populations de poisson présentes. Une caractérisation hydromorphologique minimale est elle aussi indispensable pour interpréter les caractéristiques de ces populations, compte tenu des préférendums d'habitats des poissons. Les calculs des IPR et IPR+ nécessitent aussi un certain nombre de caractéristiques du secteur prospecté. Cette fiche propose un protocole pour décrire plus succinctement qu'avec le protocole Carhyce (AFB, 2017), les secteurs d'inventaires piscicoles tout en permettant l'évaluation de la qualité biologique via le calcul de l'indice poisson Rivière IPR.

FAISABILITE

- **Personnel :** 2 opérateurs
- **Temps pour le suivi sur site** :
  - fonction de la longueur du secteur et de sa complexité
  - 1h30 pour un linéaire de 60 m
- **Degrés de facilité :** Simple

Points importants

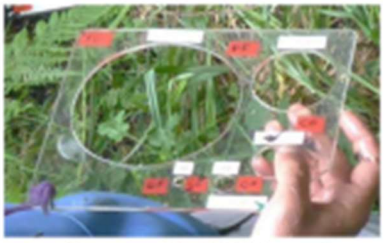
Afin de valoriser des inventaires piscicoles, certaines caractéristiques du secteur échantillonné sont indispensables :

- la mesure précise de la surface prospectée
- l'estimation des parts relatives de cette surface occupées par chacun des 6 types de faciès d'écoulement (①)

Les autres paramètres sont eux aussi informatifs, mais ils peuvent ne pas être mesurés en cas de limite de temps, dans la mesure où certains d'entre eux (profondeur et granulométrie notamment) font partie des critères d'établissement de la typologie des faciès d'écoulement.

Matériel nécessaire

- ☑ Double décamètre
- ☑ Télémètre laser (facultatif) pour les cours d'eau larges (> 5-10m) ou profonds
- ☑ Mire télescopique graduée ou un autre outil gradué en cm. Une toise de 1,5 m peut être fabriquée à partir d'un mètre de couturière souple fixé sur un tasseau avec des agrafes)
- ☑ Granulomètre (facultatif)....
- ☑ Petits piquets colorés (30 à 50 cm) en plastiques ou bois (peints) pour les délimitations de faciès
- ☑ Feuilles de saisie de données
- ☑ Aide visuelle à l'estimation des pourcentages de recouvrement (Annexe 1)



Granulomètre (© Fishpass)

Mire télescopique (à droite) et toise (à gauche)

- Cette méthode peut s'adapter à tous les cours d'eau prospectables à pied
- La mise en œuvre du protocole doit se faire à l'étiage (pas trop sévère) pour une bonne distinction des faciès d'écoulement
- L'eau ne doit pas être trouble pour la pertinence des appréciations visuelles (exemple : granulométrie)

81

Protocole

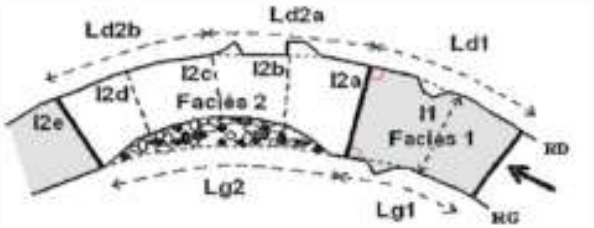
Fiche technique
N°9
Caractérisation hydromorphologique

1 **Délimiter les faciès d'écoulement** du secteur d'étude (petits piquets colorés) sur une des berges selon la typologie suivante (d'après Ombredane et al., 1995) :

Type de faciès	Notations	Profondeur	Vitesse de courant	Granulométrie	Largeur	Écoulement de surface
Rapide	RAP	Moyenne à forte	Très forte	Très grossière, irrégulière	Inférieure	Turbulent
Radier-Rapide	RR	Moyenne	Forte	Grossière	Moyenne	Frisella, turbulent
Radier (ou seuil)	RAD	Faible à très faible	Forte	Grossière	Supérieure	Frisella, turbulent
Plat courant	PC	Moyenne à faible	Moyenne à forte	Grossière à fine	Moyenne	Frisella + laminaire
Plat lent	PL	Moyenne à forte	faible	Fine	Moyenne	Laminaire
Profond (ou mouille)	P	Forte à très forte	Très faible	Fine (+ parfois riches)	Souvent supérieure	Laminaire (remous possibles)

Dans la plupart des cas, les faciès se succèdent longitudinalement. Si tel n'est pas le cas voir la procédure décrite en ⑦

2 En face de chaque limite de faciès, planter un petit piquet coloré sur l'autre berge de telle sorte que le transect positionné soit perpendiculaire au sens du courant et aux berges (ex : I2a et I2e)



3 **Estimation des longueurs des faciès** : mesurer les longueurs Rive droite (RD) et Rive gauche (RG) au décamètre (précision : 0,01 m) en appliquant les principes suivants :

→ ne pas tenir compte des petites sinuosités locales
→ faire les mesures au ras de l'eau
→ faire les mesures du lit même s'il y a une surface exondée en berge (exemple Faciès 2 de la figure)
→ Ne pas faire de mesures de plus de 6-8 m pour pouvoir intégrer la sinuosité du lit. Exemple sur la figure : décomposition en Ld2a et Ld2b de la longueur rive droite Ld concave du Faciès 2 ; La mesure de la longueur de la rive gauche convexe correspondante (Lg) est mesurée en une seule fois, mais aurait pu aussi être mesurée en 2 fois sur des linéaires correspondant aux longueurs Ld2a et Ld2b.

La longueur du faciès est estimée par la moyenne des longueurs rive droite et rive gauche

4 **Estimation de la largeur moyenne en eau de chaque faciès** : Mesurer *a minima* la largeur en eau en début et en fin de faciès (sur des transects perpendiculaires aux berges)

→ Si la longueur du faciès est inférieure à 5m et les largeurs homogènes, faire une largeur supplémentaire en milieu de faciès.
→ Si la longueur du faciès est inférieure à 5m et les largeurs hétérogènes, faire plusieurs (2 à 3) largeurs supplémentaires à pas régulier.
→ Si la longueur du faciès est supérieure à 5 m faire des mesures de largeurs à pas régulier de 5m en commençant à 2,5 m du début du faciès

4 suite

La largeur moyenne l moy du faciès se calcule de la manière suivante :

$$lmoy = (ldeb \times 0,5 + lfin \times 0,5 + \sum li) / (n-1)$$

avec ldeb et lfin = largeurs respectivement en début et fin de faciès,
li = largeur i au sein du faciès, n = nombre total de largeurs li au sein du faciès

Attention : si une partie centrale du transect est hors d'eau, en soustraire la largeur exondée à la largeur totale du transect

5

Estimation de la **largeur moyenne de plein bord de chaque faciès** :
→ Utiliser la même démarche que pour la largeur en eau (cf ④)
→ Procéder aux mesures en même temps que les largeurs en eau

6

Calcul de la **surface en eau de chaque faciès et du secteur d'inventaire**
→ Surface du faciès = Longueur du faciès (cf ③) x largeur moyenne du faciès (cf ④)
→ La surface du secteur est estimée par la somme des surfaces des différents faciès
→ La largeur moyenne du secteur est estimée par : Surface du secteur / longueur du secteur (*)
(*) la longueur du secteur correspond à la moyenne de la longueur rive droite et de la longueur rive gauche

7

Si les faciès ne se succèdent pas longitudinalement, faire un plan et suffisamment de mesures pour pouvoir calculer la surface de chaque faciès

Faire un plan même si les faciès se succèdent longitudinalement peut s'avérer utile

8

La **profondeur** en eau de chaque faciès est estimée en mesurant avec la mire (précision : 1 cm) sur 5 à 10 profondeurs réparties à pas régulier sur un transect d'une largeur représentative du faciès. Par souci de gain de temps, on choisira un transect où une largeur a été mesurée au sein de chaque faciès.

9

Granulométrie de chaque faciès : Apprécier visuellement (1) la fraction dominante, correspondant au plus fort pourcentage de recouvrement, (2) la fraction sub-dominante et (3) la fraction accessoire (3ième pourcentage de recouvrement en partant du plus élevé)
→ il est aussi possible de relever visuellement les pourcentages de recouvrement des différentes fractions granulométriques si cela semble plus facile. Les trois types de fraction (dominante, sub-dominante et accessoire) pourront être extraites de cette évaluation.
→ Afin de recueillir des informations sur les potentialités de colmatage et des besoins de substrat de ponte et/ou d'habitats de certaines espèces piscicoles, les fractions granulométriques retenues sont les suivantes :

Classe de taille (diamètre en mm)	Fractions granulométriques	Code
< 0,0625	Limon, vase	L
0,0625 - 0,5	Sable fin	SF
0,5 - 2	Sable grossier	SG
2 - 16	Graviers	G
16 - 64	Caillou	C
64 - 128	Pierres fines	PF
128 - 256	Pierres grossières	PG
256 - 1024	Bloc	B
> 1024	Roche mère, Roches, Dalles	RM

Simplifié d'après l'échelle granulométrique de Wentworth (Ombredane et al, 2011 ; AFB, 2017)

Fiche technique

N°9

Caractérisation végétation

10 La végétation aquatique étant un élément structurant des habitats aquatiques, il s'agit d'estimer visuellement le pourcentage de recouvrement (Annexe 1) des principales catégories (annexe 2) suivantes (le total faisant 100%) :

- % substrat nu
- % d'algues (filamenteuses)
- % de bryophytes
- % de phanérogames aquatiques (Renoncules Callitriches,...)
- % de phanérogames flottantes (lentilles d'eau, nénuphar, ...)
- % de phanérogames émergentes (type roseaux)

11 Parce que les **sous-berges creuses** sont des lieux de refuge et de repos pour les poissons, leurs linéaires sont mesurés en m. Ces « caches » potentielles sont exprimées en % du linéaire en berges creuses pour chacune des rives (gauche et droite) de chaque faciès. On ne considérera que les sous-berges d'un profondeur minimale de 20 cm

12 **L'occupation des berges** est décrite en prenant en compte 4 types :

- Sol nu : SN
- Herbacée : H
- Arbustif (Taillis- Ronce ; 0,5 – 2,5 m de haut) : T
- Arbre (> 2,5 m de haut) : A

Chaque berge est caractérisée pour les pourcentages de chaque type d'occupation des berges. La somme des pourcentages est égale à 100%

13 Une note d'**ombrage** est donnée à chaque faciès. Selon le % de la surface ombragée, les notes sont les suivantes :

0 :	Ombrage nul	0%
1 :	Très éclairé	<15%
2 :	Peu ombragé	15-60%
3 :	Très ombragé	>60%

14 Pour caractériser globalement le secteur d'étude certains paramètres sont des moyennes pondérées des valeurs prises dans chaque faciès. La pondération se fait avec les surfaces des faciès : profondeur h, % recouvrement en végétation aquatique, ombrage.

Exemple : *h moyenne du secteur = (∑ hi moy x Si) / ∑Si*

avec hi moy = profondeur moyenne du faciès i, Si = surface du faciès i

Pour d'autres paramètres, la pondération se fait avec les linéaires des berges : % du linéaire en berges creuses, % de types de ripisylves.

Références

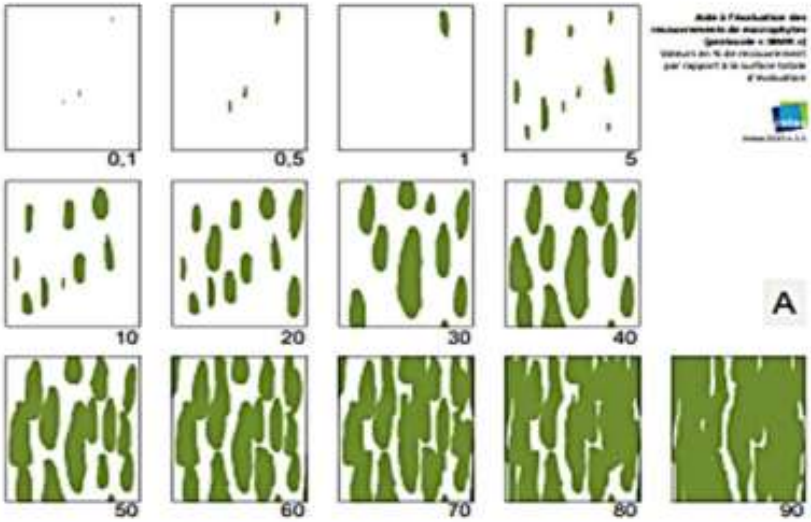
AFB, 2017, Carhyce - Caractérisation hydromorphologique des cours d'eau - Protocole de recueil de données hydromorphologiques à l'échelle de la station sur les cours d'eau prospectables à pied, AFB, Collection Guides et protocoles, 36 p, + annexes

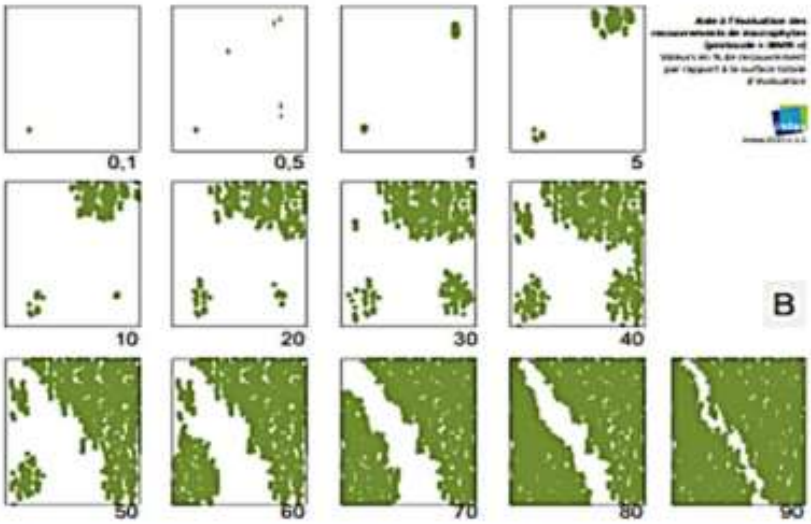
Ombredane D., Bardonnet A., Jégousse L., ONEMA, 2011. Evaluation indirecte du colmatage des substrats en cours d'eau lotiques - Rapport final, Rapport Convention INRA - ONEMA, INRA Rennes (France), 187p

Ombredane D., Haury J., Chapon P.M., 1995. Heterogeneity and typology of fish habitat in the main stream of a breton coastal river (Elorn - Finistère, France). Hydrobiologia, 300/301, 259-268

Annexe 1

Aide à l'estimation visuelle des pourcentages de recouvrement.





IRSTEA, 2015, Schéma d'aide à l'évaluation des recouvrements V1.1., 2p. https://hydrobio-dce.inrae.fr/wp-content/uploads/2015/07/Schema_recouvrements_irstea2015_1.1.pdf (consulté le 16/03/2022)

Annexe 2

Aide à la détermination des types de macrophytes

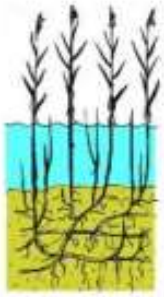
→ **Algues :** colonies de filaments submergés ramifiés ou non, en général vert, parfois un peu jaunâtre ou placages noirâtre bleuté. Pas de feuilles différenciées

→ **Bryophytes** : touffes submergées plus ou moins étendues, vert à vert noirâtre, généralement présence de feuilles, plantes de petite taille, sans fleurs visibles

→ **Phanérogames aquatiques submergées**

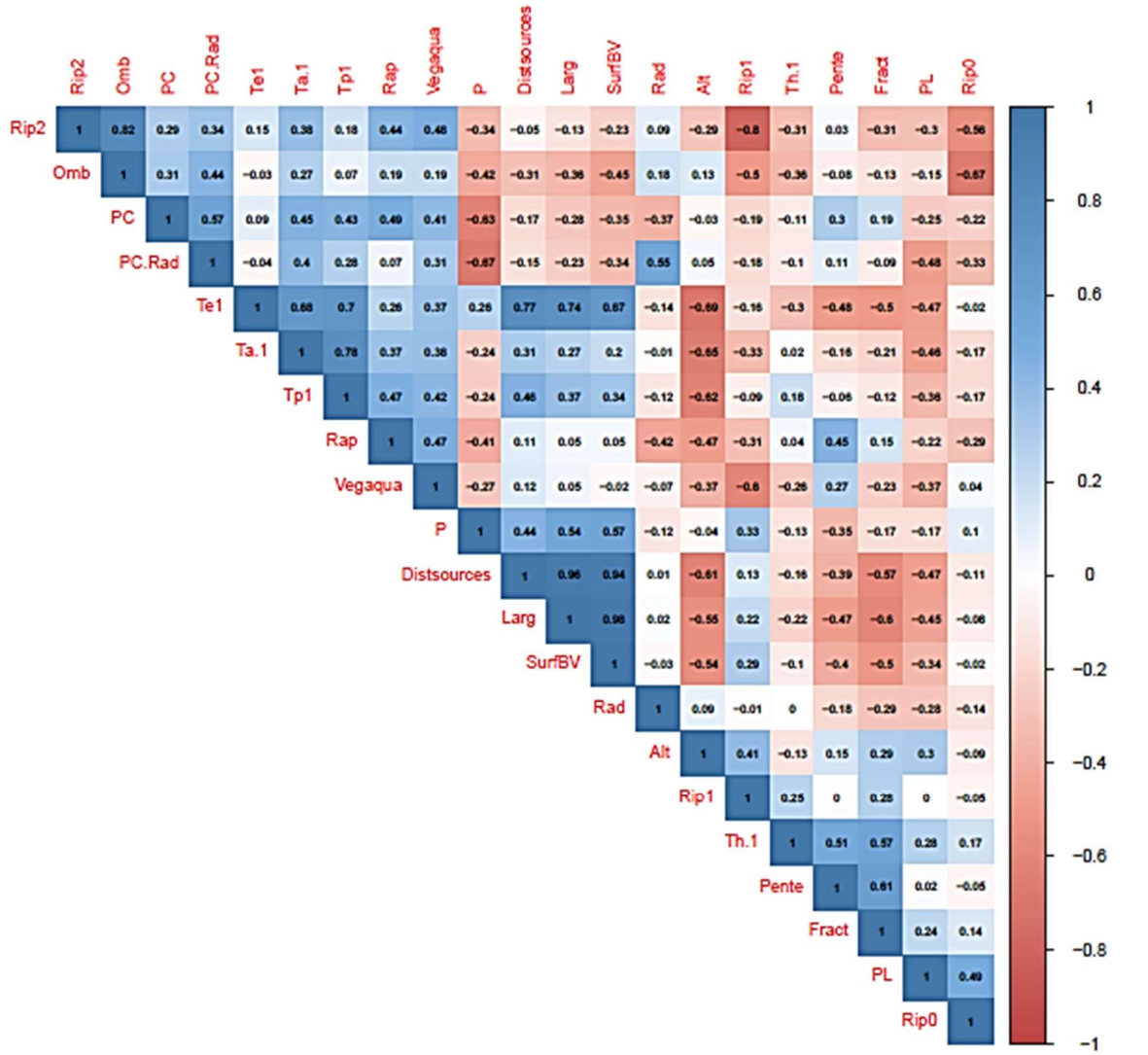
→ **Phanérogames aquatiques flottantes**

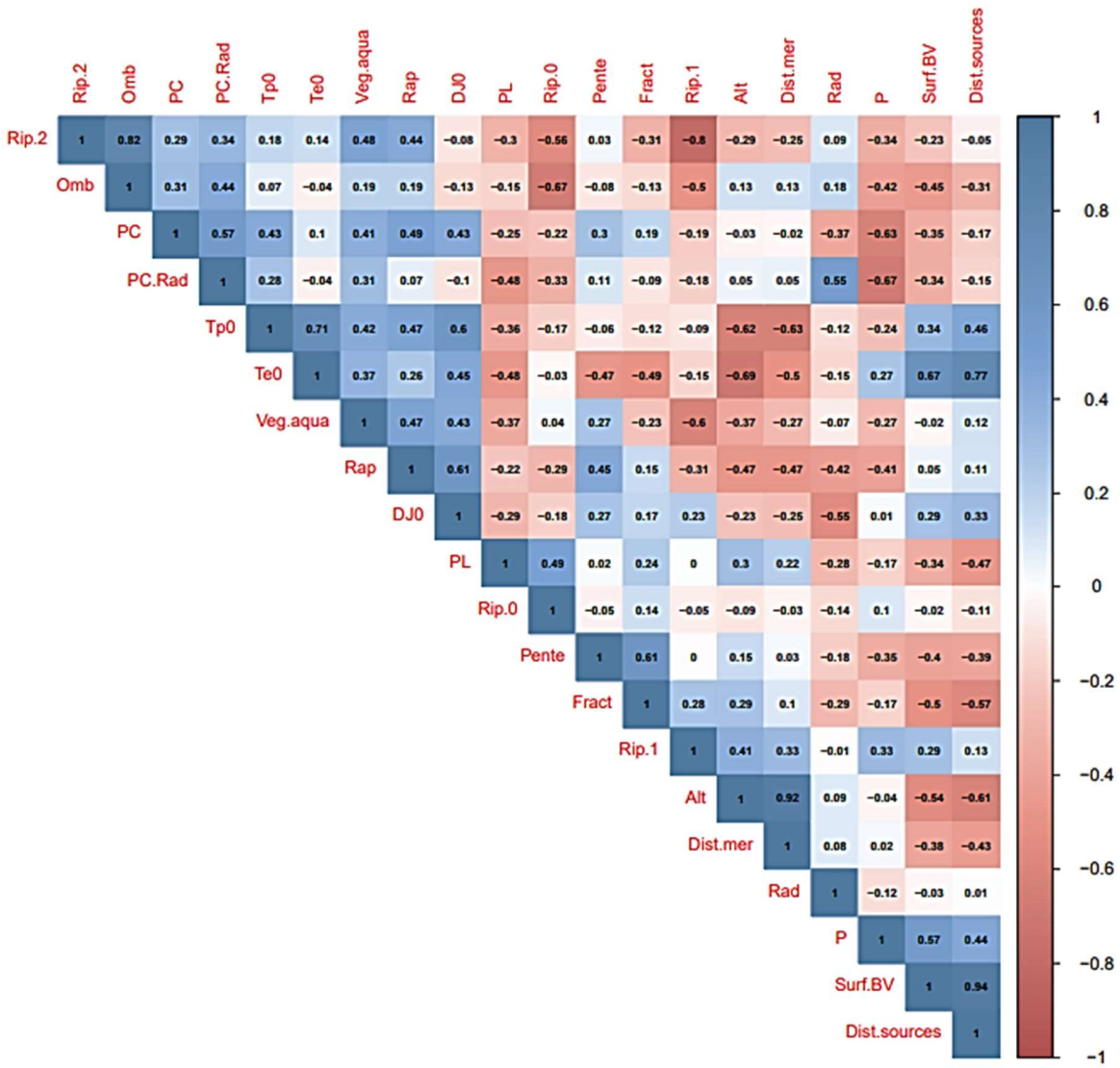
→ **Phanérogames aquatiques émergentes** (seuls les pieds sont dans l'eau)

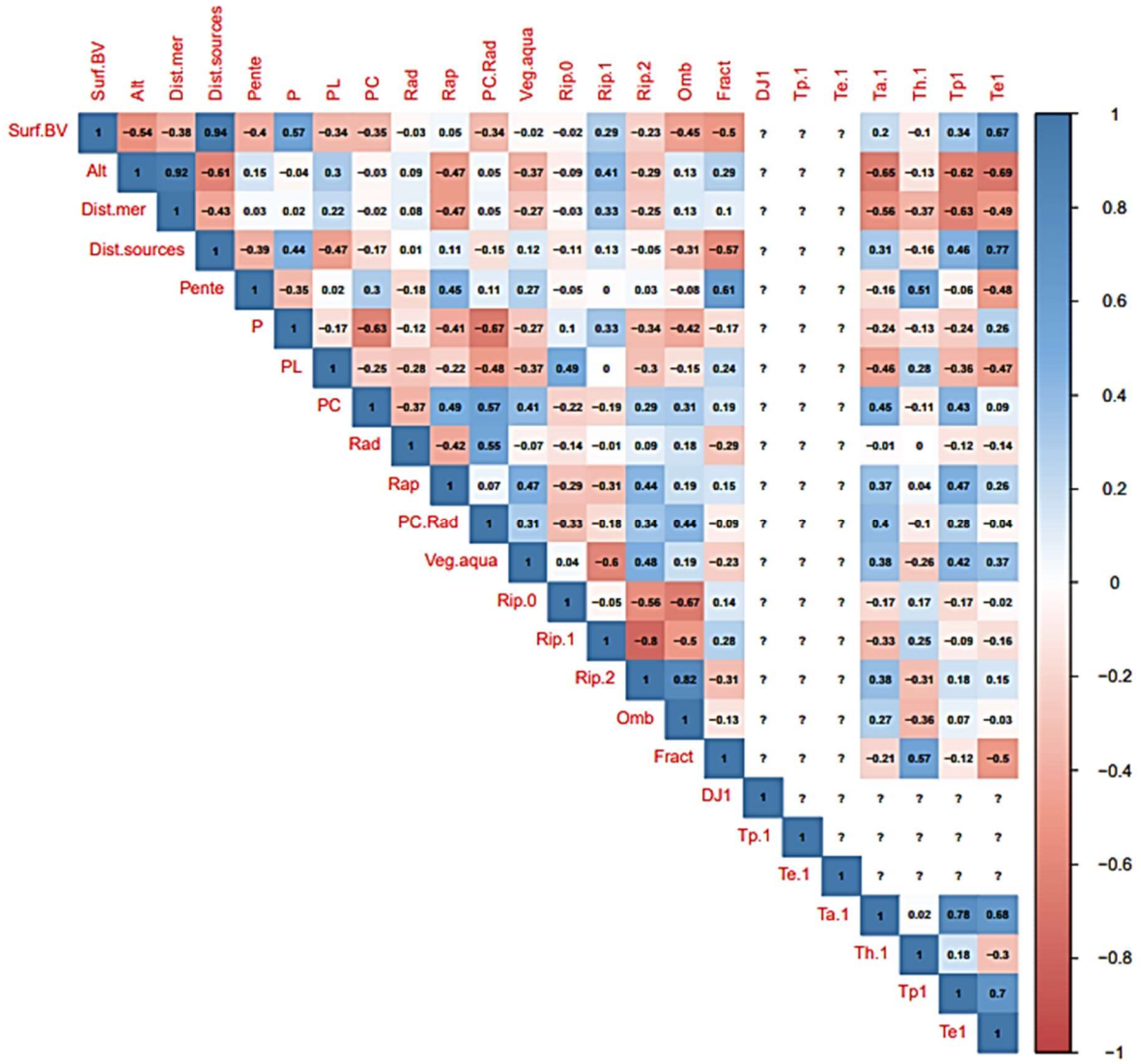


Annexe 2 : Matrices de corrélation des variables abiotiques et biotiques explicatives de la croissance

La signification des libellés estdétaillée dans le tableau 4 du rapport




Rip.2 Omb PC PC.Rad Tp0 Te0 Veg.aqua Rap DJ0 PL Rip.0 Pente Fract Rip.1 Alt Dist.mer Rad P Surf.BV Dist.sources
Rip.2 1 0.82 0.29 0.34 0.18 0.14 0.48 0.44 −0.08 −0.3 −0.56 0.03 −0.31 −0.8 −0.29 −0.25 0.09 −0.34 −0.23 −0.05
Omb 1 0.31 0.44 0.07 −0.04 0.19 0.19 −0.13 −0.15 −0.67 −0.08 −0.13 −0.5 0.13 0.13 0.18 −0.42 −0.45 −0.31
PC 1 0.57 0.43 0.1 0.41 0.49 0.43 −0.25 −0.22 0.3 0.19 −0.19 −0.03 −0.02 −0.37 −0.63 −0.35 −0.17
PC.Rad 1 0.28 −0.04 0.31 0.07 −0.1 −0.48 −0.33 0.11 −0.09 −0.18 0.05 0.05 0.55 −0.67 −0.34 −0.15
Tp0 1 0.71 0.42 0.47 0.6 −0.36 −0.17 −0.06 −0.12 −0.09 −0.62 −0.63 −0.12 −0.24 0.34 0.46
Te0 1 0.37 0.26 0.45 −0.48 −0.03 −0.47 −0.49 −0.15 −0.69 −0.5 −0.15 0.27 0.67 0.77
Veg.aqua 1 0.47 0.43 −0.37 0.04 0.27 −0.23 −0.6 −0.37 −0.27 −0.07 −0.27 −0.02 0.12
Rap 1 0.61 −0.22 −0.29 0.45 0.15 −0.31 −0.47 −0.47 −0.42 −0.41 0.05 0.11
DJ0 1 −0.29 −0.18 0.27 0.17 0.23 −0.23 −0.25 −0.55 0.01 0.29 0.33
PL 1 0.49 0.02 0.24 0 0.3 0.22 −0.28 −0.17 −0.34 −0.47
Rip.0 1 −0.05 0.14 −0.05 −0.09 −0.03 −0.14 0.1 −0.02 −0.11
Pente 1 0.61 0 0.15 0.03 −0.18 −0.35 −0.4 −0.39
Fract 1 0.28 0.29 0.1 −0.29 −0.17 −0.5 −0.57
Rip.1 1 0.41 0.33 −0.01 0.33 0.29 0.13
Alt 1 0.92 0.09 −0.04 −0.54 −0.61
Dist.mer 1 0.08 0.02 −0.38 −0.43
Rad 1 −0.12 −0.03 0.01
P 1 0.57 0.44
Surf.BV 1 0.94
Dist.sources 1
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
−0.2
−0.4
−0.6
−0.8
−1


Surf.BV Alt Dist.mer Dist.sources Pente P PL PC Rad Rap PC.Rad Veg.aqua Rip.0 Rip.1 Rip.2 Omb Fract DJ1 Tp.1 Te.1 Ta.1 Th.1 Tp1 Te1
Surf.BV 1 -0.54 -0.38 0.94 -0.4 0.57 -0.34 -0.35 -0.03 0.05 -0.34 -0.02 -0.02 0.29 -0.23 -0.45 -0.5 ? ? ? 0.2 -0.1 0.34 0.67
Alt 1 0.92 -0.61 0.15 -0.04 0.3 -0.03 0.09 -0.47 0.05 -0.37 -0.09 0.41 -0.29 0.13 0.29 ? ? ? -0.65 -0.13 -0.62 -0.69
Dist.mer 1 -0.43 0.03 0.02 0.22 -0.02 0.08 -0.47 0.05 -0.27 -0.03 0.33 -0.25 0.13 0.1 ? ? ? -0.56 -0.37 -0.63 -0.49
Dist.sources 1 -0.39 0.44 -0.47 -0.17 0.01 0.11 -0.15 0.12 -0.11 0.13 -0.05 -0.31 -0.57 ? ? ? 0.31 -0.16 0.46 0.77
Pente 1 -0.35 0.02 0.3 -0.18 0.45 0.11 0.27 -0.05 0 0.03 -0.08 0.61 ? ? ? -0.16 0.51 -0.06 -0.48
P 1 -0.17 -0.63 -0.12 -0.41 -0.67 -0.27 0.1 0.33 -0.34 -0.42 -0.17 ? ? ? -0.24 -0.13 -0.24 0.26
PL 1 -0.25 -0.28 -0.22 -0.48 -0.37 0.49 0 -0.3 -0.15 0.24 ? ? ? -0.46 0.28 -0.36 -0.47
PC 1 -0.37 0.49 0.57 0.41 -0.22 -0.19 0.29 0.31 0.19 ? ? ? 0.45 -0.11 0.43 0.09
Rad 1 -0.42 0.55 -0.07 -0.14 -0.01 0.09 0.18 -0.29 ? ? ? -0.01 0 -0.12 -0.14
Rap 1 0.07 0.47 -0.29 -0.31 0.44 0.19 0.15 ? ? ? 0.37 0.04 0.47 0.26
PC.Rad 1 0.31 -0.33 -0.18 0.34 0.44 -0.09 ? ? ? 0.4 -0.1 0.28 -0.04
Veg.aqua 1 0.04 -0.6 0.48 0.19 -0.23 ? ? ? 0.38 -0.26 0.42 0.37
Rip.0 1 -0.05 -0.56 -0.67 0.14 ? ? ? -0.17 0.17 -0.17 -0.02
Rip.1 1 -0.8 -0.5 0.28 ? ? ? -0.33 0.25 -0.09 -0.16
Rip.2 1 0.82 -0.31 ? ? ? 0.38 -0.31 0.18 0.15
Omb 1 -0.13 ? ? ? 0.27 -0.36 0.07 -0.03
Fract 1 ? ? ? -0.21 0.57 -0.12 -0.5
DJ1 1 ? ? ? ? ? ?
Tp.1 1 ? ? ? ? ?
Te.1 1 ? ? ? ?
Ta.1 1 0.02 0.78 0.68
Th.1 1 0.18 -0.3
Tp1 1 0.7
Te1 1
1 0.8 0.6 0.4 0.2 0 -0.2 -0.4 -0.6 -0.8 -1

Annexe 3 : Tables de comparaison des AICc des différents modèles linéaires mixtes a priori testés pour expliquer la variation de la longueur à la fourche des truites communes 0+ et 1+ ainsi que des saumons atlantiques 0+.

Tableau 1 : Table de comparaison des AICc des différents modèles a priori testés sous R pour expliquer la variation de la longueur à la fourche des truites communes 0+. Avec K = Nombre de paramètres ; AICc = AIC corrigé pour les échantillons de petite taille ; ΔAICc = Différence d'AICc entre chaque modèle et le meilleur modèle.

Modèles	K	AICc	ΔAICc
PC+Rad+Rap + DJ0 + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse	8	-500.23	0.00
PC+Rad+Rap + Rip + DJ0 + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log)	7	-498.81	1.42
Modèle complet - PC+Rad+Rap + Rip + DJ0 + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse	9	-498.68	1.56
PC+Rad+Rap + Rip + DJ0 + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log) + Biomasse	8	-498.42	1.81
PC+Rad+Rap + Rip + DJ0 + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1	8	-496.82	3.41
PC+Rad+Rap + Rip + DJ0 + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log)	6	-496.54	3.70
PC+Rad+Rap + DJ0 + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log) + Biomasse	7	-496.02	4.21
PC+Rad+Rap + DJ0 + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1	7	-494.71	5.52
Modèle nul	2	-490.88	9.36

Tableau 2 : Table de comparaison des AICc des différents modèles a priori testés sous R pour expliquer la variation de la longueur à la fourche des truites communes 1+. Avec K = Nombre de paramètres ; AICc = AIC corrigé pour les échantillons de petite taille ; ΔAICc = Différence d'AICc entre chaque modèle et le meilleur modèle.

Modèles	K	AICc	ΔAICc
PC+Rad+Rap + Rip + Dens_TRF0 + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse	8	-642.58	0.00
Modèle complet - PC+Rad+Rap + Rip + DJ-1 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse	9	-640.55	2.03
PC+Rad+Rap + Rip + Dens_TRF0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse	7	-640.11	2.47
PC+Rad+Rap + Rip + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse	7	-638.61	3.97
PC+Rad+Rap + Rip + DJ-1 + Dens_TRF0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse	8	-638.06	4.52
PC+Rad+Rap + Rip + DJ-1 + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1 + Biomasse	8	-637.91	4.67
PC+Rad+Rap + Rip + Dens_Salmo1 + Biomasse	6	-635.51	7.07
PC+Rad+Rap + Rip + DJ-1 + Dens_Salmo1 + Biomasse	7	-635.37	7.21
PC+Rad+Rap + Rip + DJ-1 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1	8	-631.37	11.21
PC+Rad+Rap + Rip + DJ-1 + Dens_TRF0 (log) + Dens_Salmo1	7	-629.78	12.80
PC+Rad+Rap + Rip + DJ-1 + Dens_SAT0 (log) + Dens_Salmo1	7	-625.19	17.39
PC+Rad+Rap + Rip + DJ-1 + Dens_Salmo1	6	-622.61	19.97
Modèle nul	2	-619.08	23.50

Tableau 3 : Table de comparaison des AICc des différents modèles a priori testés sous R pour expliquer la variation de la longueur à la fourche des saumons atlantiques 0+. Avec K = Nombre de paramètres ; AICc = AIC corrigé pour les échantillons de petite taille ; ΔAICc = Différence d'AICc entre chaque modèle et le meilleur modèle.

Modèles	K	AICc	ΔAICc
PC+Rad+Rap + DJ0 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0 + Biomasse	7	-1260.08	0.00
PC+Rad+Rap + DJ0 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0 + Dens_Salmo1 + Biomasse	8	-1258.19	1.89
PC+Rad+Rap + Rip + DJ0 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0 + Biomasse	8	-1258.04	2.05
Modèle complet - PC+Rad+Rap + Rip + DJ0 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0 + Dens_Salmo1 + Biomasse	9	-1256.39	3.69
Modèle nul	2	-1253.24	6.85
PC+Rad+Rap + Rip + DJ0 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0 + Dens_Salmo1	8	-1249.78	10.31
PC+Rad+Rap + DJ0 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0	6	-1249.77	10.32
PC+Rad+Rap + Rip + DJ0 + Dens_TRF0 (log) + Dens_SAT0	7	-1247.76	12.33

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

Avec le soutien financier de :

https://www.lannion-tregor.com

/

www.afbiodiversite.fr

http://www.inrae.fr/

https://www.institut-agro-rennes-angers.fr/

www.univ-pau.fr